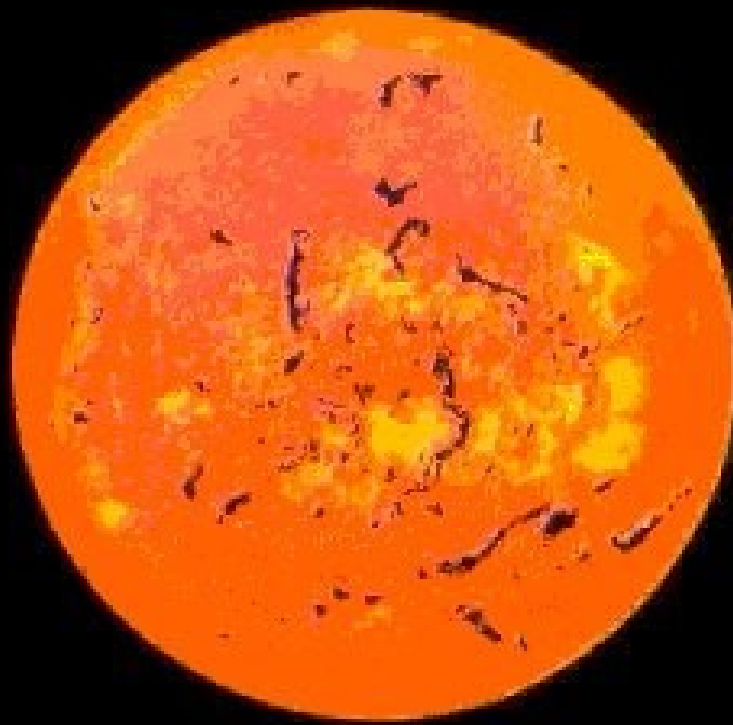


Origen de la Tierra y Sistema Solar



Cecilia Caballero

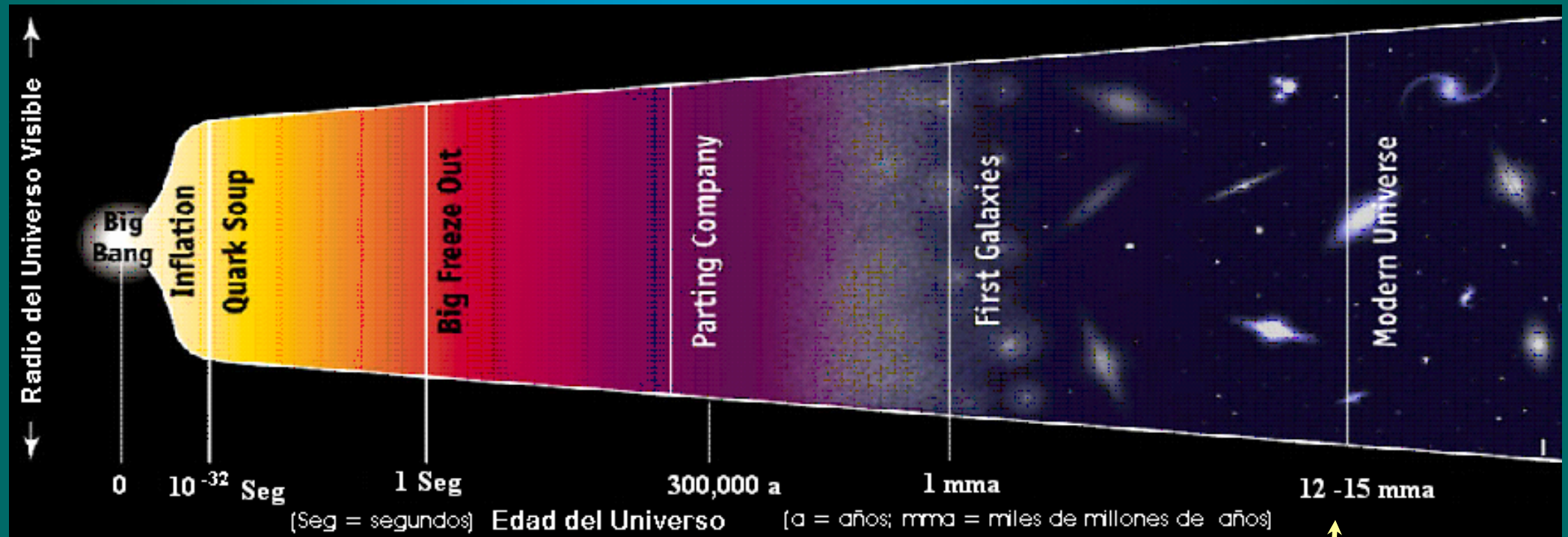


Diplomado Tiempo, Clima y Ambiente.
Instituto de Geofísica, UNAM

¿Para qué conocer el origen del Sistema Solar y la Tierra?

- Para entender el origen de la vida, el agua y otras propiedades únicas (?) de nuestro planeta
- Para responder a la pregunta ¿de dónde venimos? y ¿hacia dónde vamos ó podremos ir?
- El estudio de este origen nos lleva a preguntas fundamentales del hombre sobre el Universo, ¿qué es el espacio?, ¿qué es el tiempo?

La escala temporal



Características únicas de la Tierra (?)

- La vida - *biosfera* -
- El agua líquida - *hidrosfera* -
- La *atmósfera* - con O₂ libre -
 - Su corteza y su dinámica - *tectónica de placas* -
 - Su *campo magnético*
- El Sol, estrella con elementos pesados
- Su posición en el Sistema Solar
- La Luna y su tamaño (eclipses, mareas)

¿Cuáles son los elementos importantes y útiles para conocer (explicar) el origen de la Tierra y Sistema Solar?

- **El tamaño, densidad y composición de los planetas**
- **La geometría y dinámica del movimiento de los planetas**
- **El tipo de estrella que es el Sol y su lugar en la galaxia**
- **El origen de las estrellas y el Universo**

Composición de la Tierra y el Sol

**Hay elementos pesados en la Tierra,
¿son comunes en otros lugares del
Universo, del Sistema Solar?**

El Universo esta formado
principalmente por H y He,
¿de donde salen los demás elementos?

- En las estrellas, gigantescos reactores nucleares, se lleva a cabo la fusión nuclear: los núcleos de H se unen para formar He.

- Cuando el H de la estrella se agota, si la estrella es suficientemente grande (ca. más de 8 soles), los núcleos de He se unen para formar otros elementos: C, O, Na, Mg, Si, etc. . .

Periodo	Grupo																	
	1															18		
1	1 H Hidrógeno															2 He Helio		
2	3 Li Litio	4 Be Berilio											5 B Boro	6 C Carbono	7 N Nitrógeno	8 O Oxígeno	9 F Flúor	10 Ne Neón
3	11 Na Sodio	12 Mg Magnesio	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13 Al Aluminio	14 Si Silicio	15 P Fósforo	16 S Azufre	17 Cl Cloro	18 Ar Argón
4	19 K Potasio	20 Ca Calcio	21 Sc Escandio	22 Ti Titanio	23 V Vanadio	24 Cr Cromo	25 Mn Manganeso	26 Fe Hierro	27 Co Cobalto	28 Ni Níquel	29 Cu Cobre	30 Zn Zinc	31 Ga Galio	32 Ge Germanio	33 As Arsénico	34 Se Selenio	35 Br Bromo	36 Kr Criptón
5	37 Rb Rubidio	38 Sr Estroncio	39 Y Itrio	40 Zr Zirconio	41 Nb Niobio	42 Mo Molibdeno	43 Tc Tecnecio	44 Ru Rutenio	45 Rh Rodio	46 Pd Paladio	47 Ag Plata	48 Cd Cadmio	49 In Indio	50 Sn Estañio	51 Sb Antimonio	52 Te Teluro	53 I Yodo	54 Xe Xenón
6	55 Cs Cesio	56 Ba Bario	57 La Lantano	72 Hf Hafnio	73 Ta Tántalo	74 W Volframio	75 Re Renio	76 Os Osmio	77 Ir Iridio	78 Pt Platino	79 Au Oro	80 Hg Mercurio	81 Tl Telio	82 Pb Plomo	83 Bi Bismuto	84 Po Polonio	85 At Astato	86 Rn Radón
7	87 Fr Francio	88 Ra Radio	89 Ac Actinio	104 Rf Rutherfordio	105 Db Dubnio	106 Sg Seaborgio	107 Bh Bohrio	108 Hs Haseo	109 Mt Meitnerio	110 Uun Ununnilio	111 Uuu Ununnilio	112 Uub Ununbio		114 Uuq Ununquadio		116 Uuh Ununhexio		118 Uuo Ununoctio

Lantánidos

Actínidos

6	58 Ce Cerio	59 Pr Praseodimio	60 Nd Neodimio	61 Pm Prometio	62 Sm Samario	63 Eu Europio	64 Gd Gadolinio	65 Tb Terbio	66 Dy Disprosio	67 Ho Holmio	68 Er Erbio	69 Tm Tulio	70 Yb Yterbio	71 Lu Lutecio
7	90 Th Torio	91 Pa Protactinio	92 U Uranio	93 Np Neptunio	94 Pu Plutonio	95 Am Americio	96 Cm Curio	97 Bk Berkelio	98 Cf Californio	99 Es Einsteinio	100 Fm Fermio	101 Md Mendelevio	102 No Nobelio	103 Lr Lawrencio

Notas:

Metálicos Metaloides No metales Gases nobles

(T) Base en peso atómico carbono de 12 () indica el más estable o el de isotopo más conocido.

- Al llegar al elemento de masa atómica 65 (no. atómico 26 = Fe) la fusión nuclear absorbe energía, en lugar de emitirla. La estrella entra en crisis y explota, en este proceso se forman los elementos más pesados que Fe.

¿Qué estrella es el Sol?

El Sol es una estrella de segunda generación: surgido del colapso gravitacional de una nube interestelar de gas y polvo, provocada quizá por la explosión de una supernova hace unos 4,700 millones de años. Estas nubes son ricas en elementos pesados



Tenemos elementos pesados debido a nuestro tipo de sol,

Estrella “media” a la mitad de su vida.



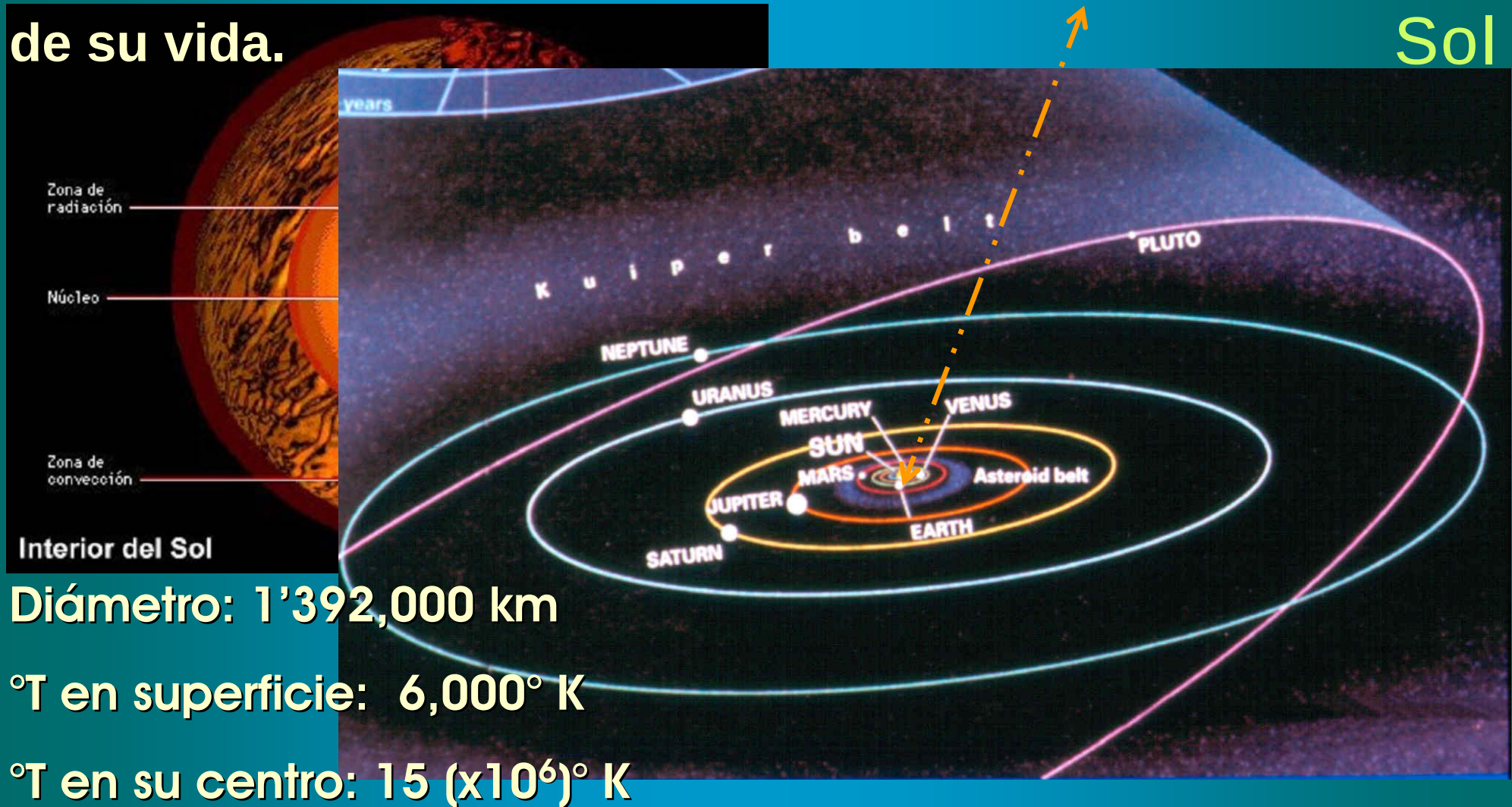
Diámetro: 1'392,000 km

°T en superficie: 6,000° K

°T en su centro: 15 (x10⁶)° K

Tenemos elementos pesados debido a nuestro tipo de sol, pero también debido a que estamos cerca del Sol

Estrella “media” a la mitad de su vida.



Tipo de estrella que es el Sol

Brillo (masa, edad / distancia)

Temperatura

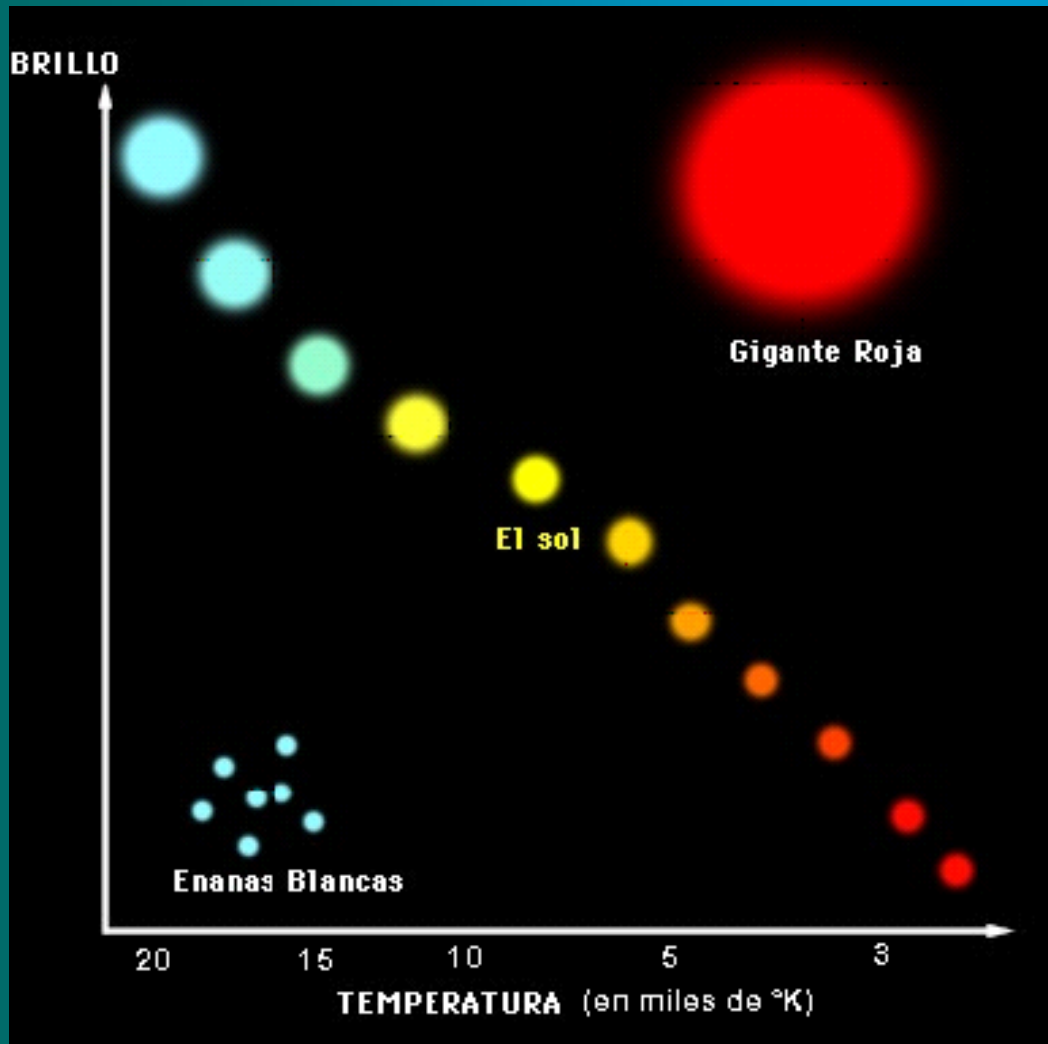
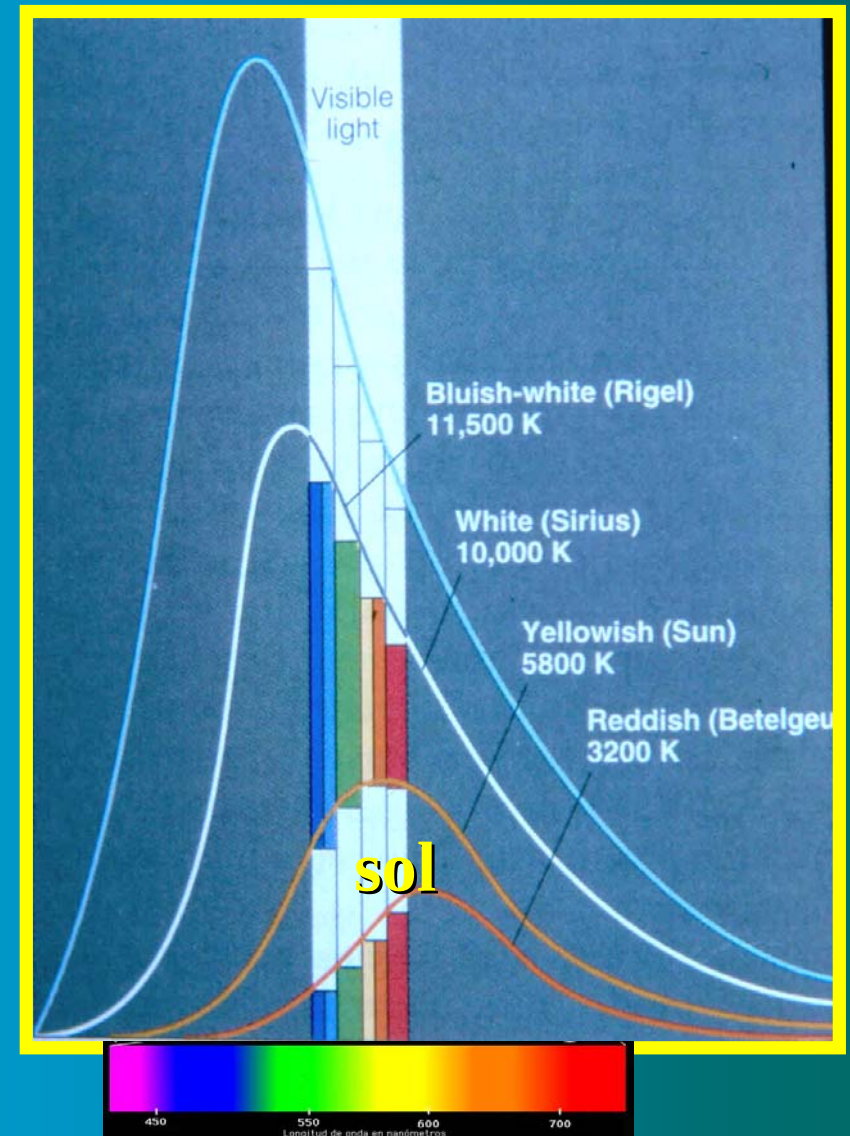
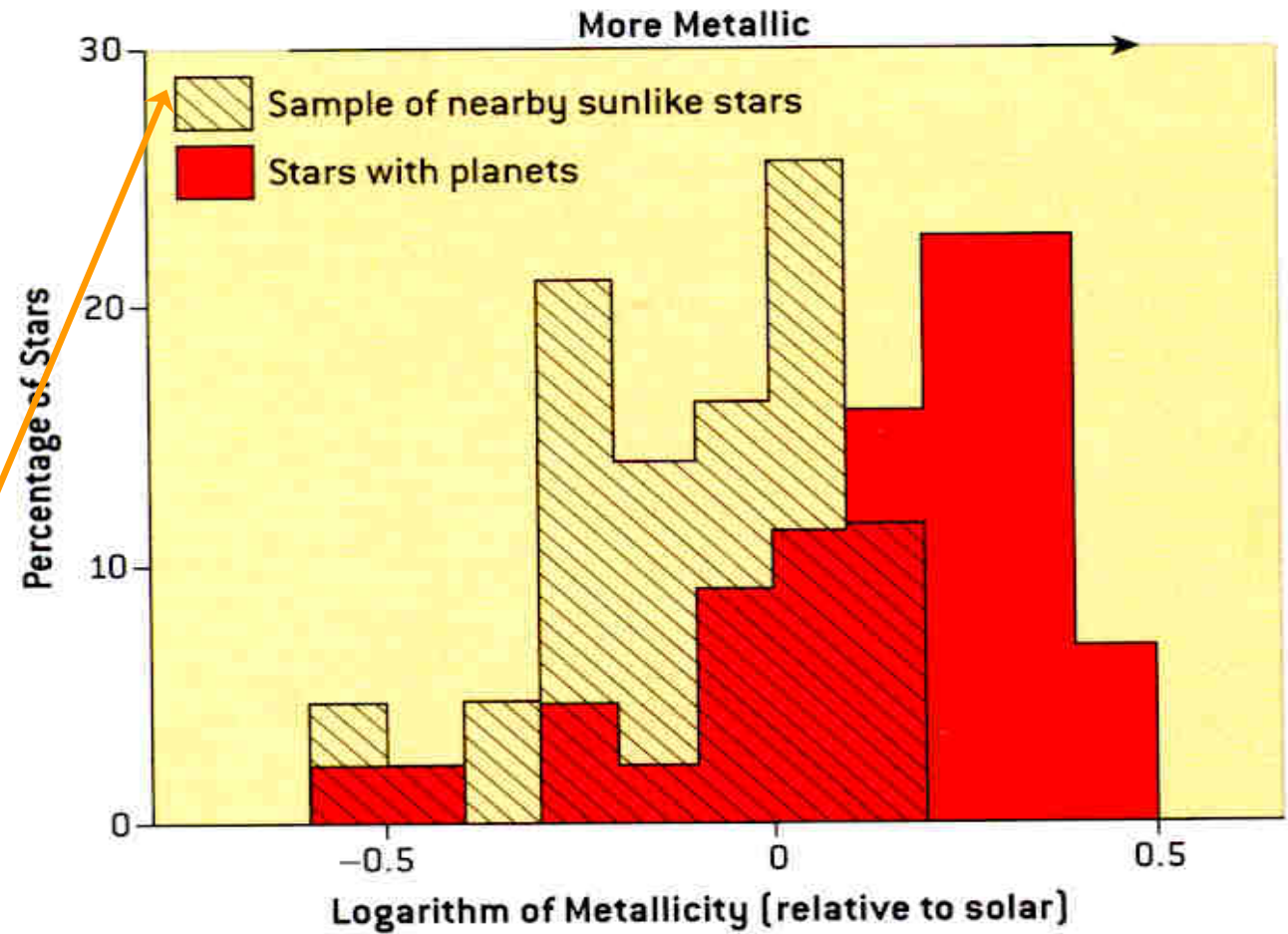
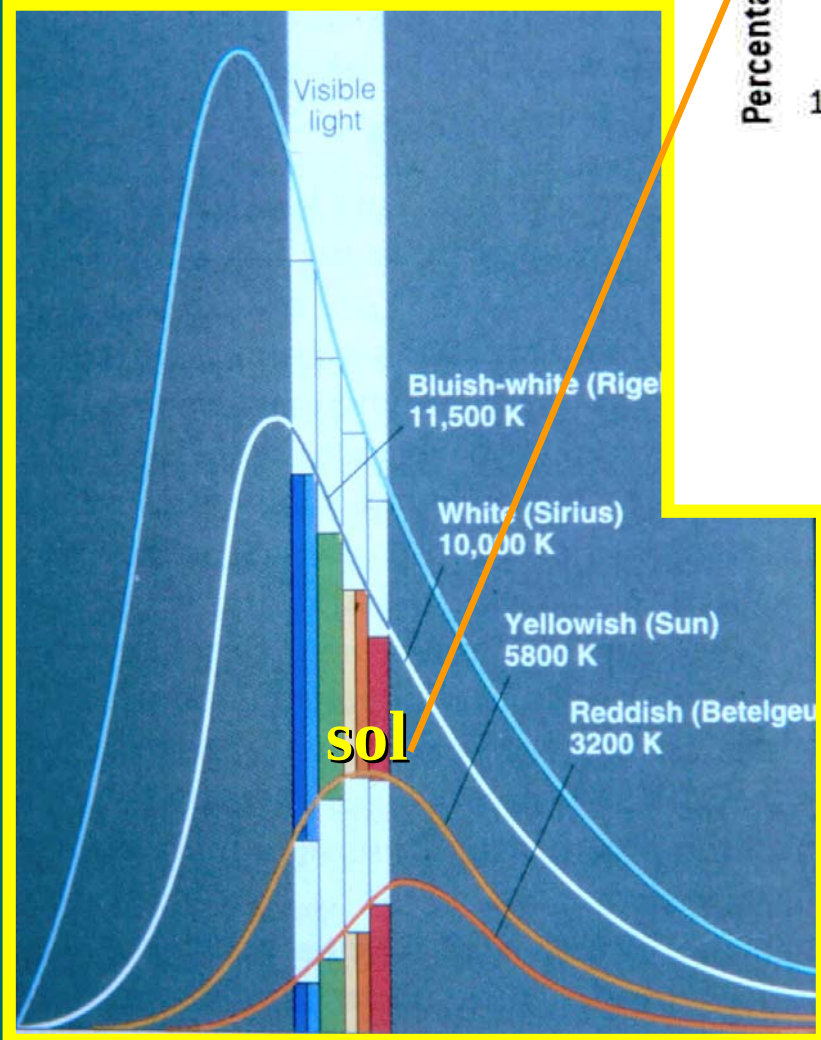


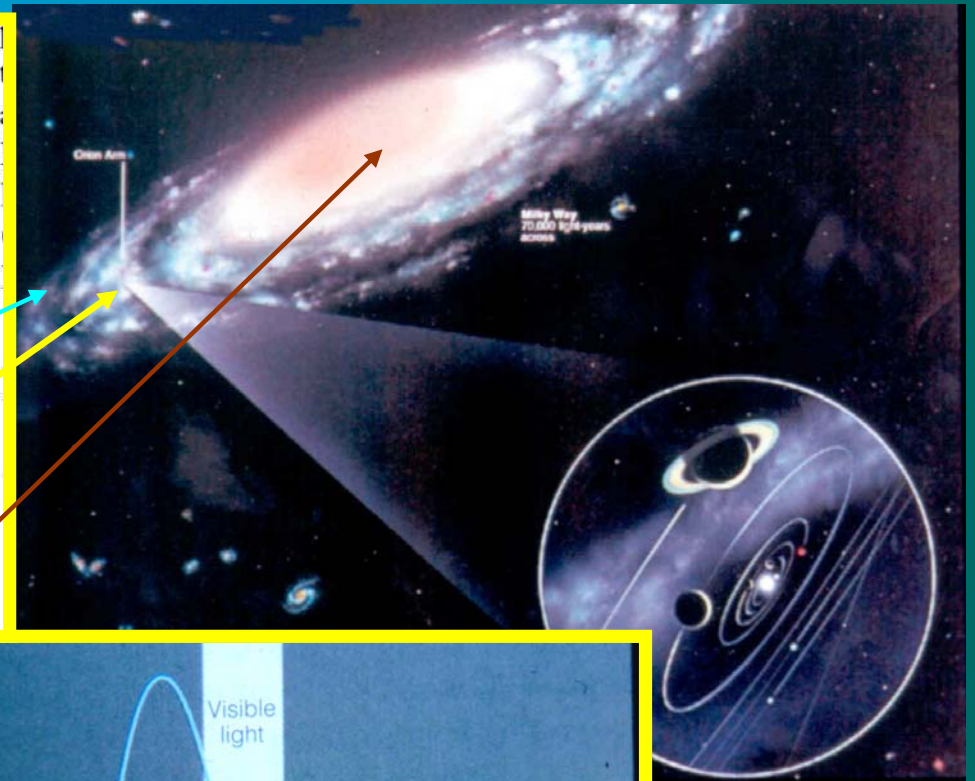
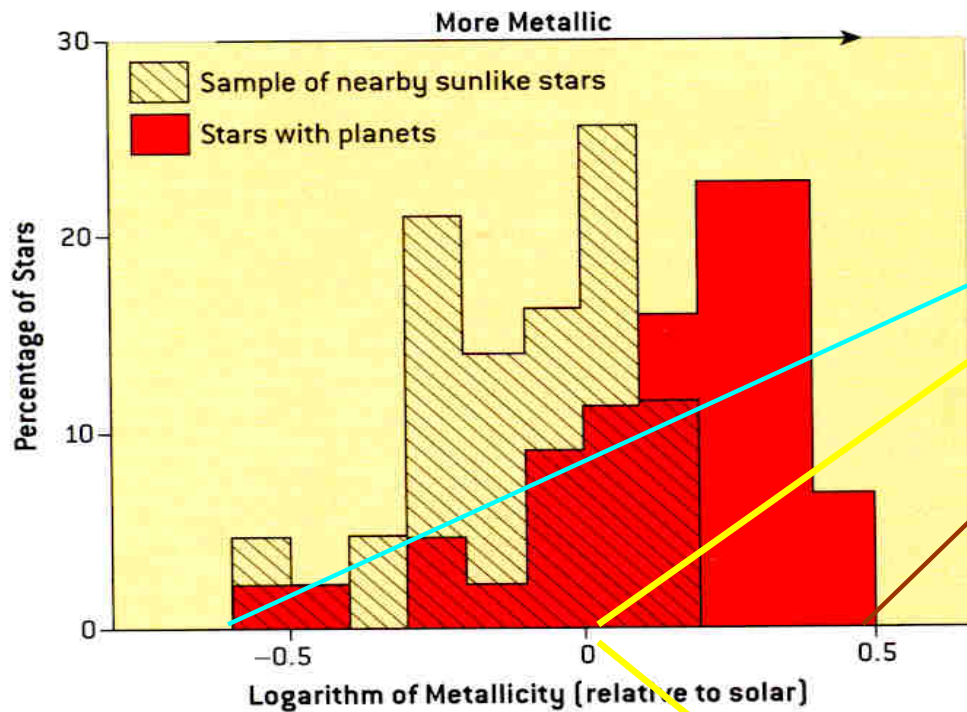
Diagrama Hertzsprung-Russell



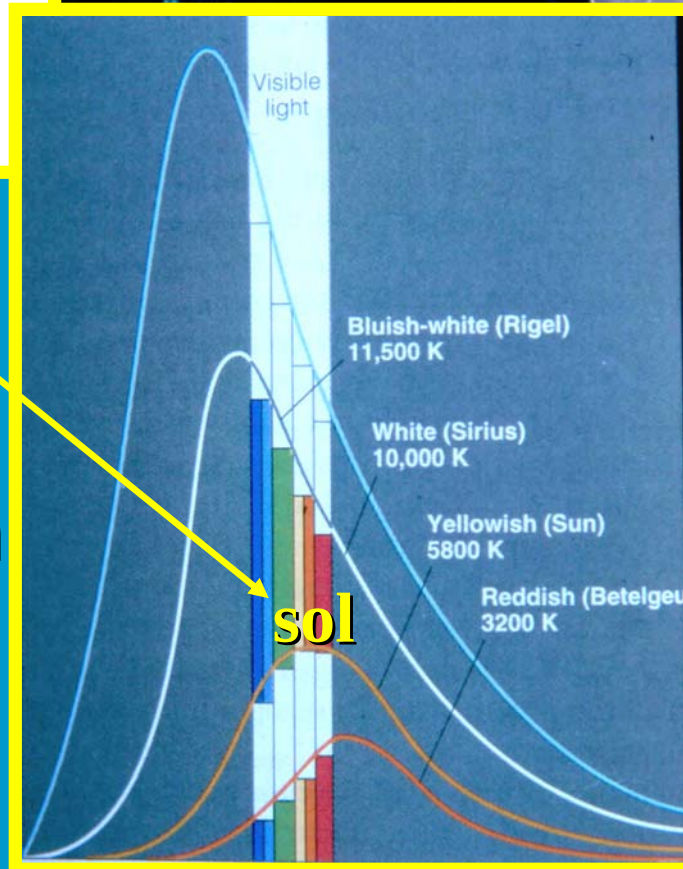
Star Type	Temperature (K)
O	40,000
B	25,000
A	11,000
F	7,600
G	6,000
K	5,100
M	2,500



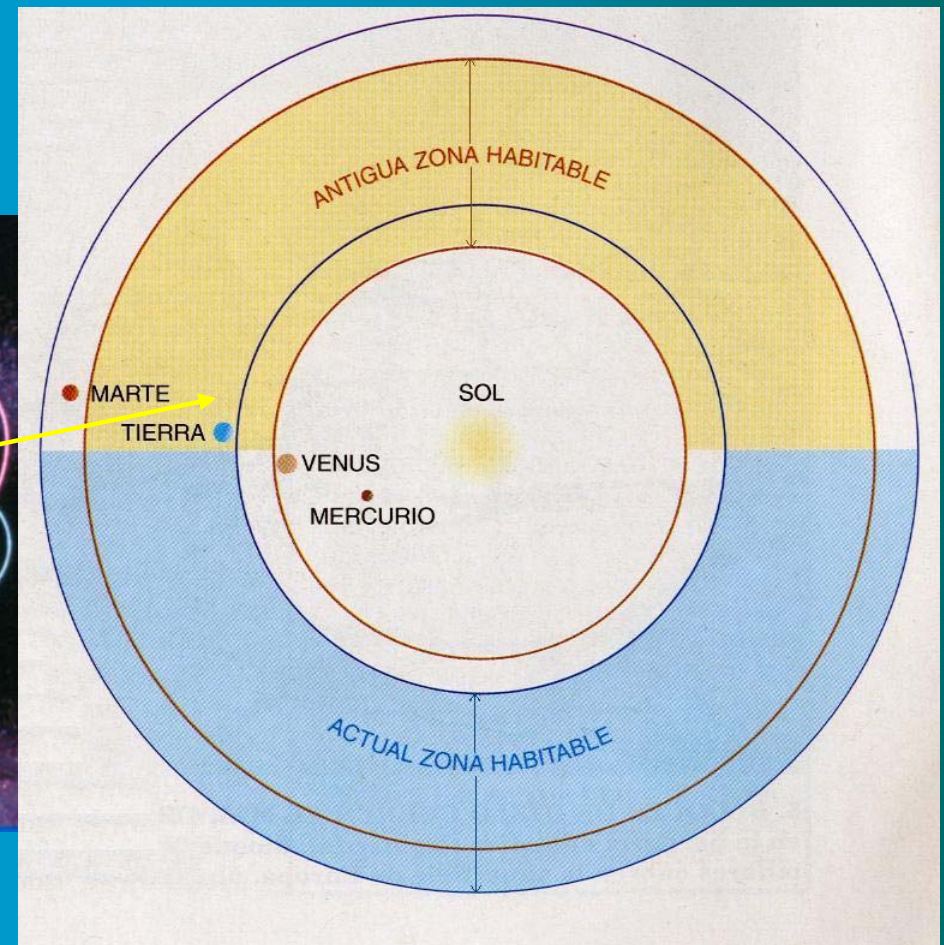
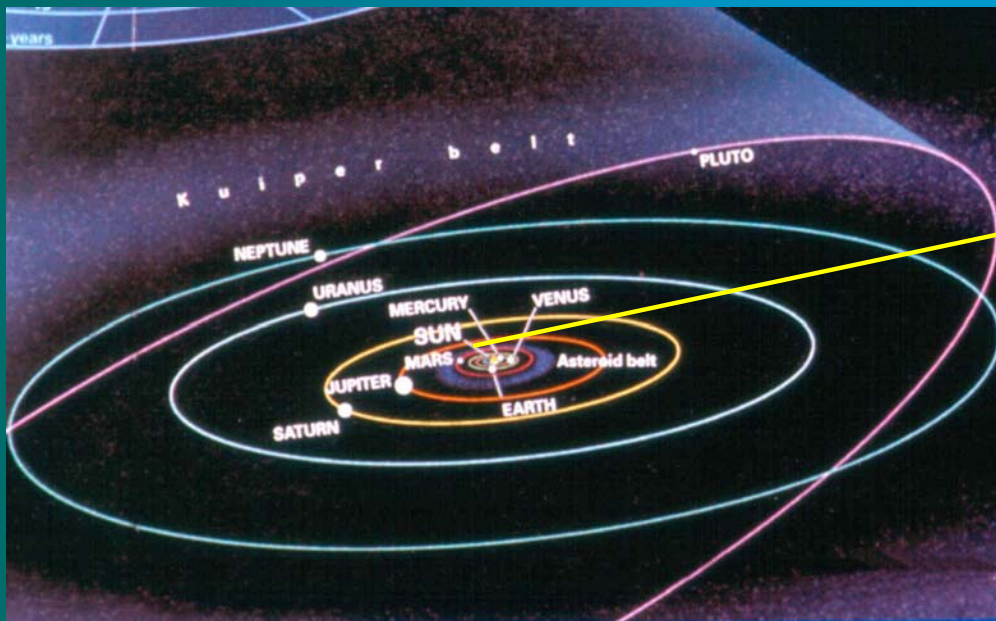
Tipos de estrellas y su
“metalicidad”



¿El lugar del Sol en la galaxia es importante para ser una estrella con elementos pesados y planetas?



El lugar de la Tierra en el SS también es clave para sus características “especiales”



Estructura del Sistema Solar

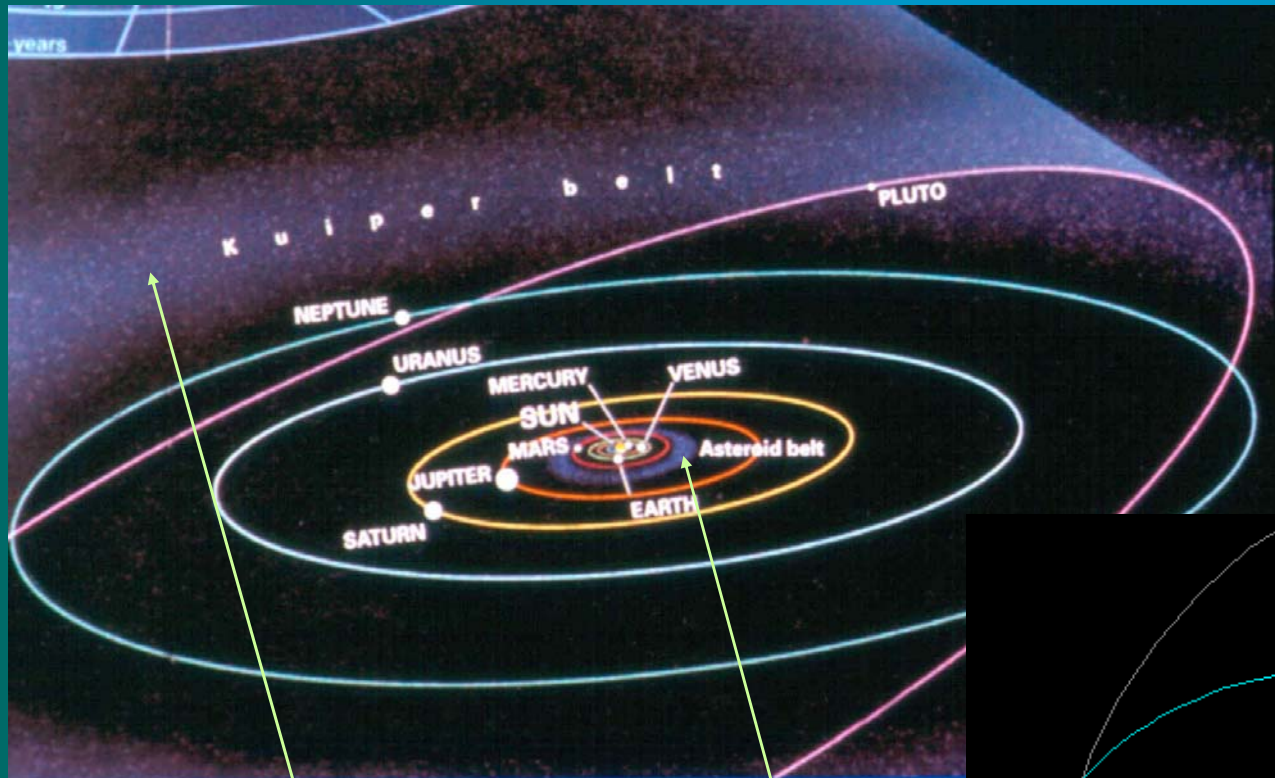
El SS está conformado por:

- **El Sol, en el centro.**
- **Los planetas: 8, más sus Satélites**
- **y los planetas enanos**

- **Asteroides**
- **Meteoritos y**
- **Cometas**

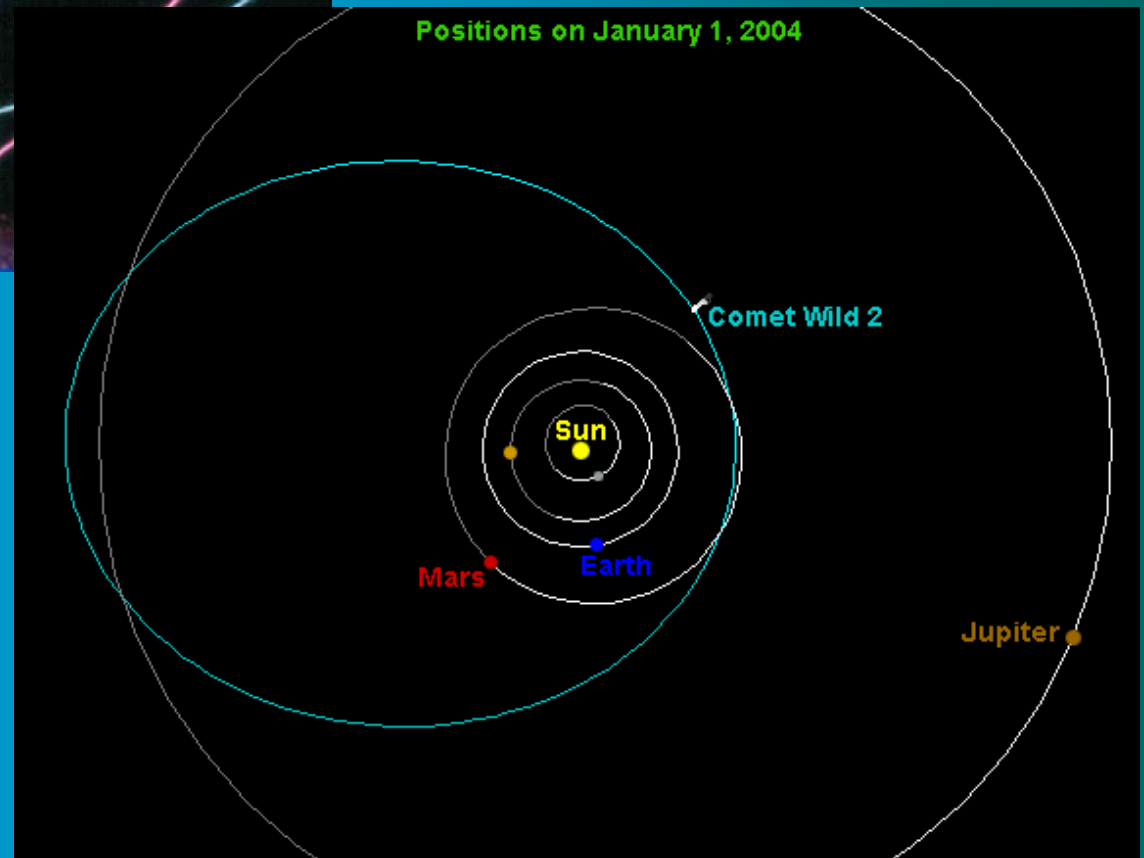


❖ Girando en órbitas “concéntricas” y “excéntricas”



Cinturón de
asteroides de Kuiper

Cinturón de asteroides



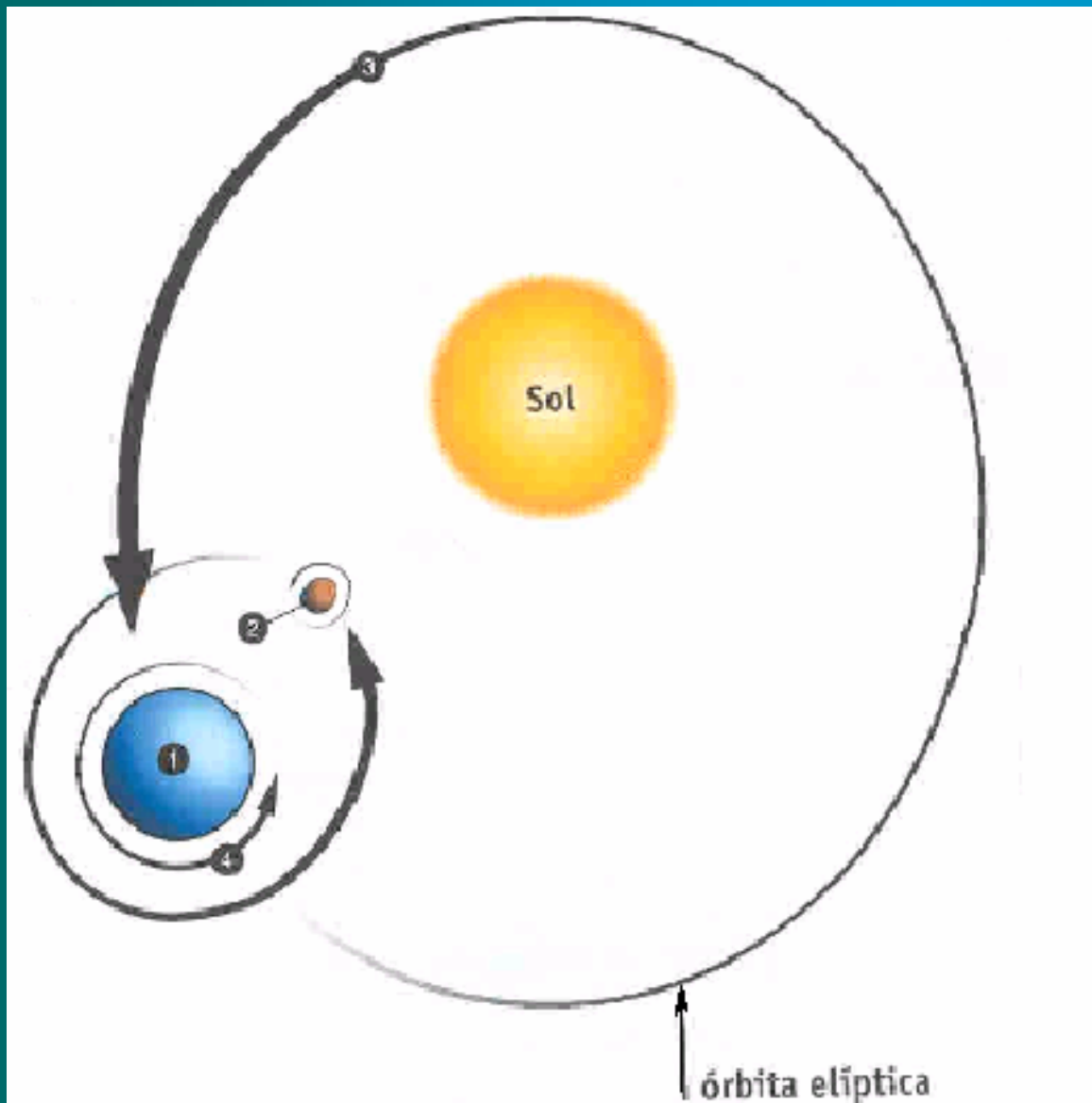
Distribución de la masa en el Sistema Solar



satélites, cometas, asteroides, meteoritos y el medio interplanetario = 0.015%.

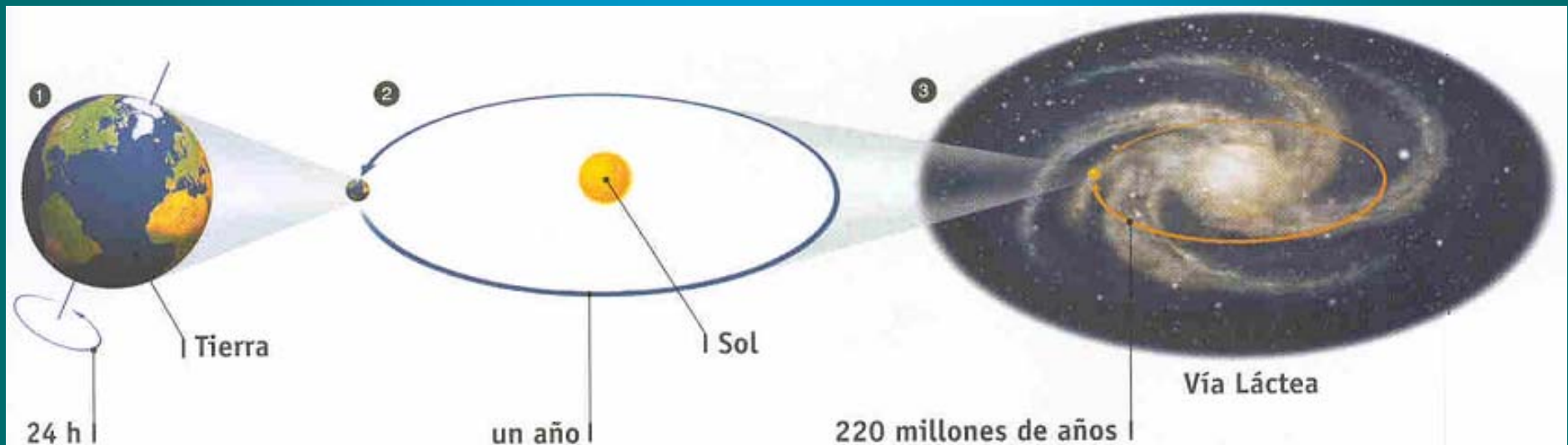
Júpiter > de 2 veces la materia de todos los otros planetas juntos.

Movimientos del Sistema Solar

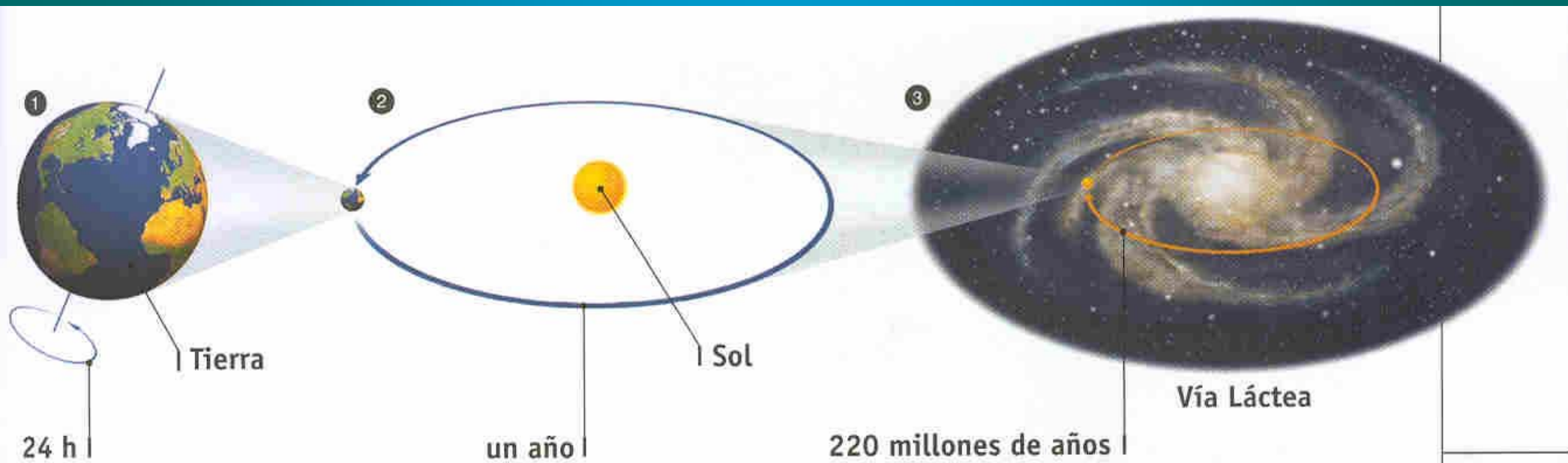


➤ Visto desde el polo norte de la Tierra, los planetas (y satélites) se mueven alrededor del Sol en dirección contraria a la de las agujas del reloj.

La Tierra en el SS y el SS en la Galaxia



y el tiempo que toman en efectuarse los movimientos en el sistema solar

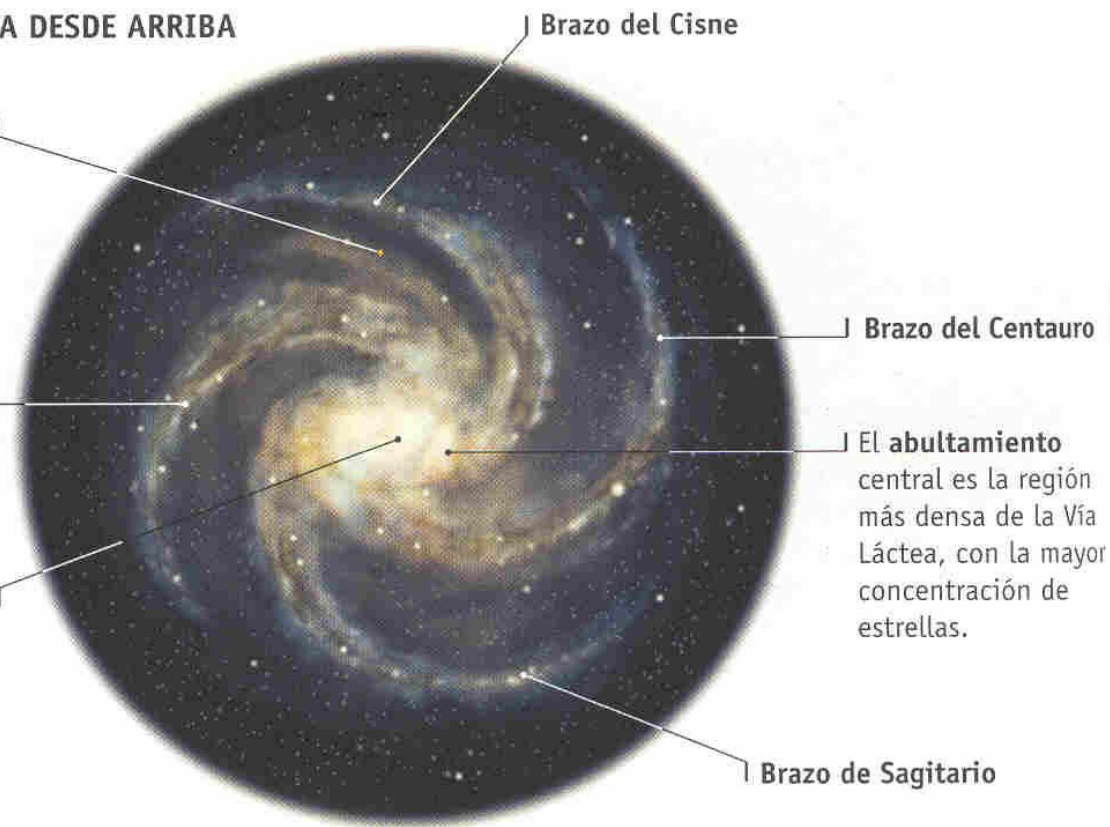


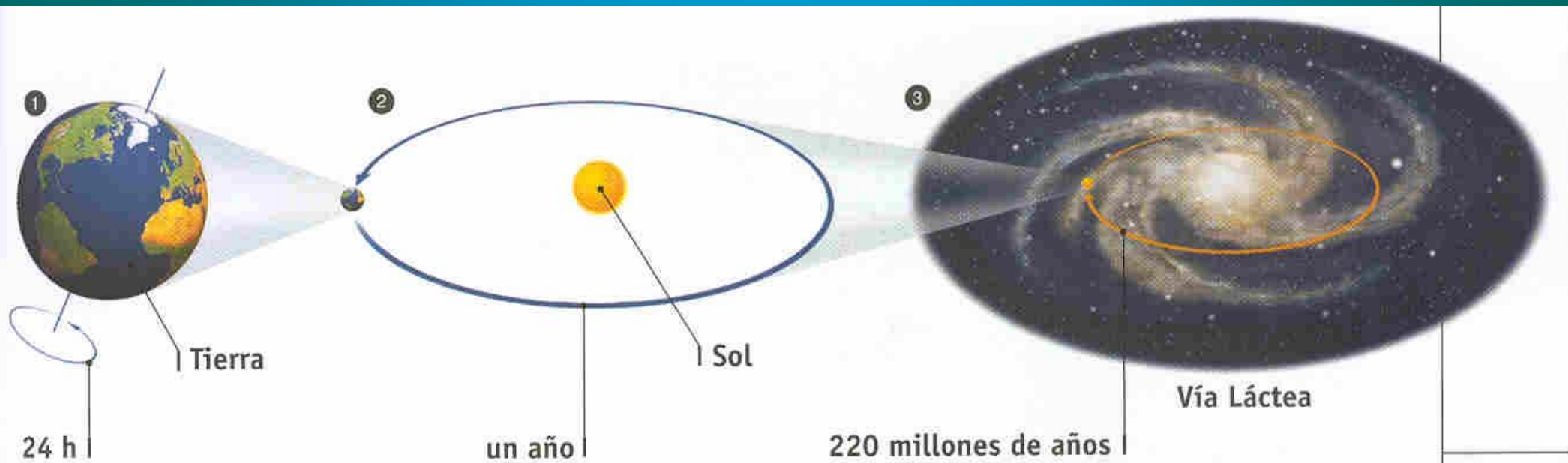
LA GALAXIA VISTA DESDE ARRIBA

Nuestro **sistema solar** está en la periferia, en el Brazo de Orión, o Brazo Local, que parece salir el Brazo de Perseo.

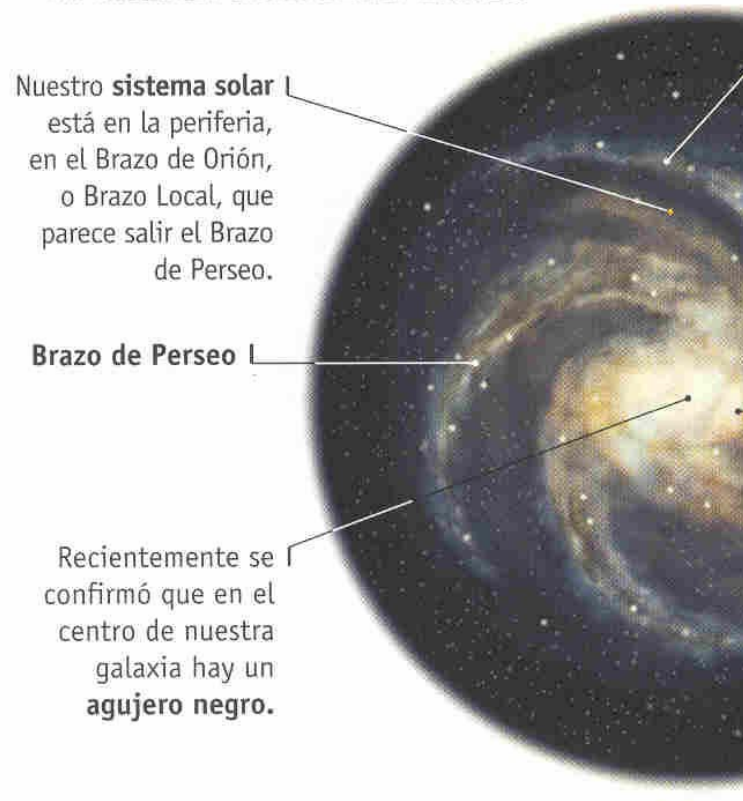
Brazo de Perseo

Recientemente se confirmó que en el centro de nuestra galaxia hay un **agujero negro**.

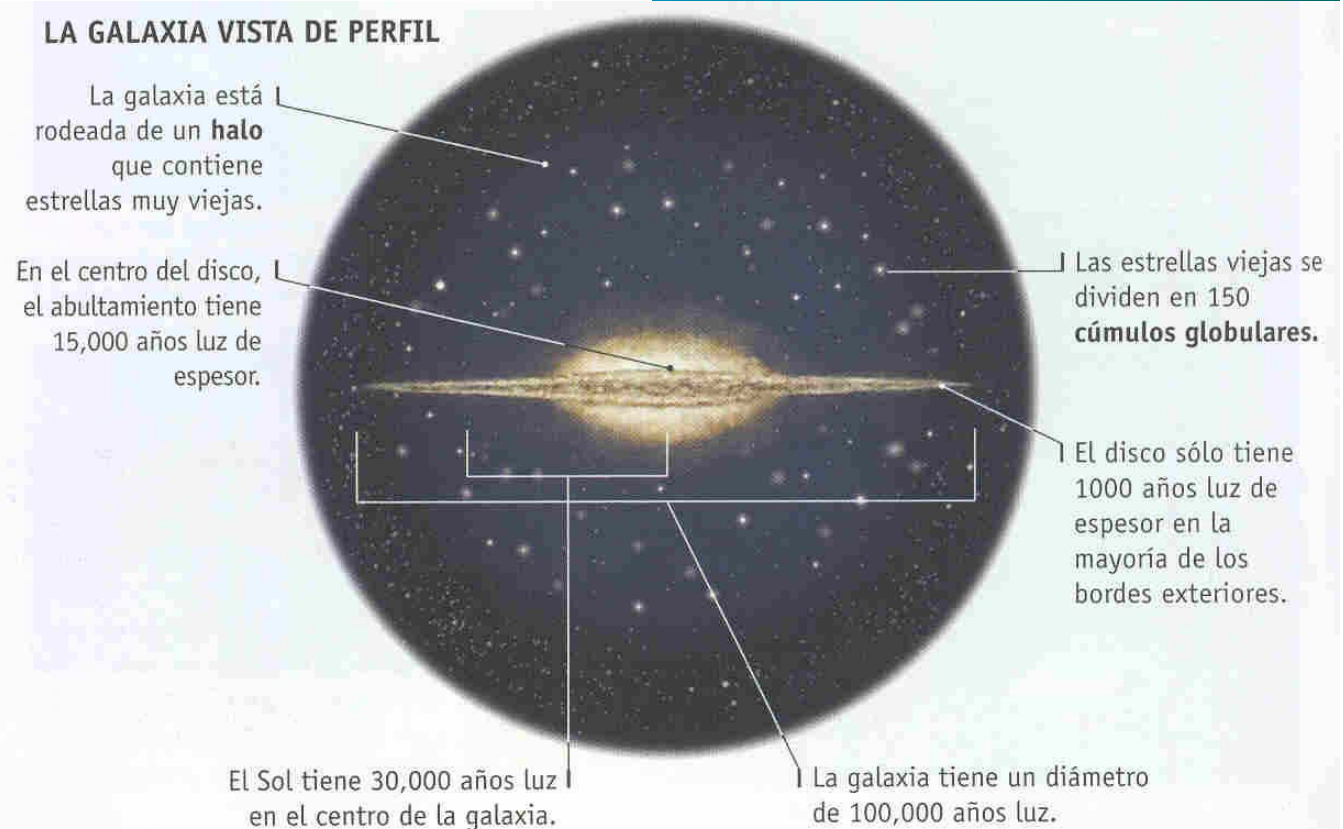




LA GALAXIA VISTA DESDE ARRIBA



LA GALAXIA VISTA DE PERFIL



Dimensiones del SS



Mercurio: 57.9×10^6 km; 0.39 UA;

Venus: 108.2×10^6 km; 0.72 UA;

Tierra: 149.6×10^6 km; 1 UA;

Marte: 228×10^6 km; 1.52 UA;

Júpiter: 778.3×10^6 km; 5.2 UA

Saturno: $1,427 \times 10^6$ km; 9.54 UA

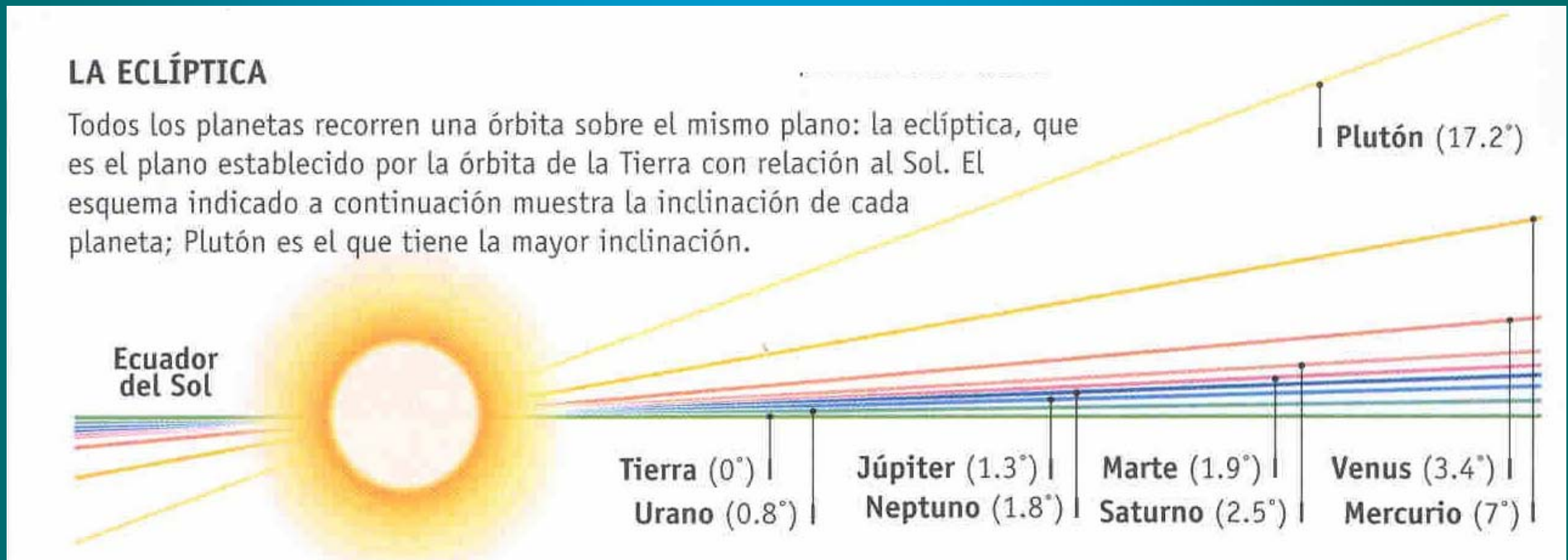
Urano: $2,869.3 \times 10^6$ km; 19.19 UA

Neptuno: $4,497 \times 10^6$ km; 30.06 UA

Plutón: $5,913.7 \times 10^6$ km; 39.44 UA

Sedna: 13 a 139 mil $\times 10^6$ km; 86.9 a 869 UA

➤ Todo el sistema es bastante plano, sólo las órbitas de Mercurio y Plutón son inclinadas.

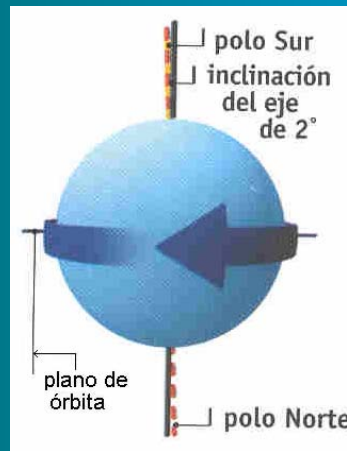


➤ **Eclíptica:** órbita que recorren todos los planetas alrededor del Sol, cuyo plano es establecido con referencia a la órbita terrestre.

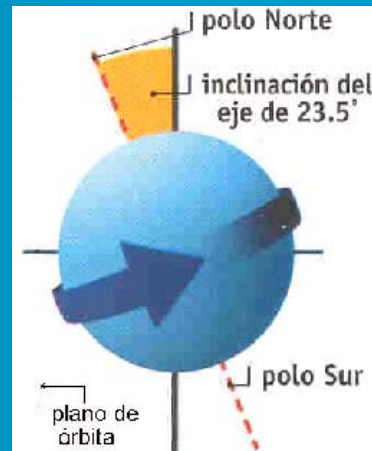
➤ Todos los planetas giran sobre su eje en la misma dirección, excepto *Venus*, *Urano* y *Plutón*



Mercurio



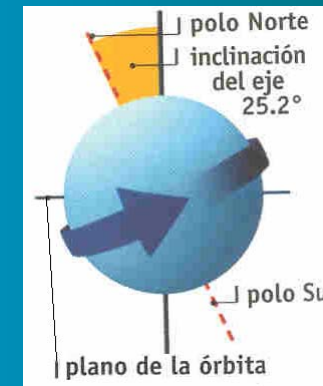
Venus



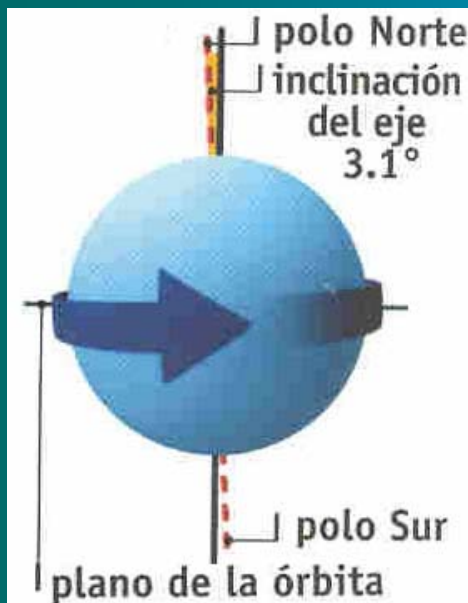
Tierra



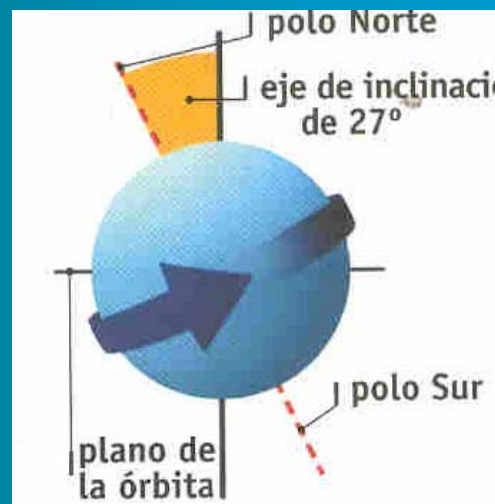
Luna



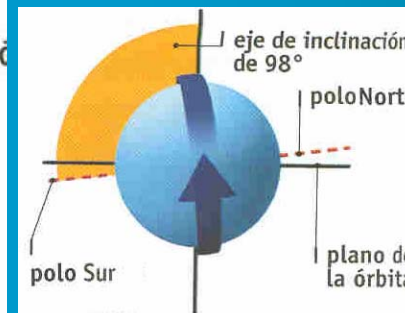
Marte



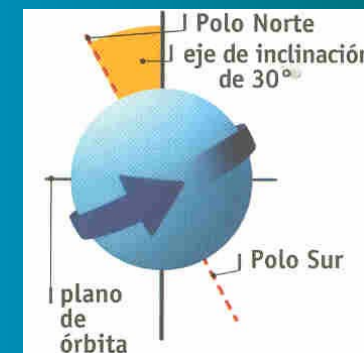
Júpiter



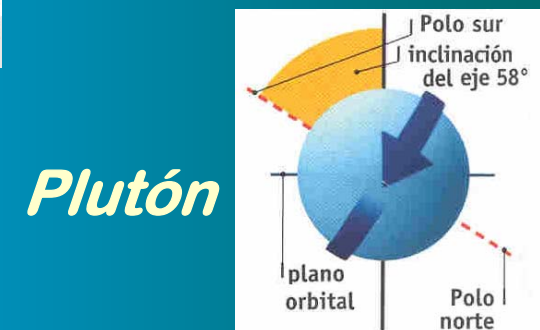
Saturno



Urano



Neptuno



Plutón

Planetas interiores y exteriores



- **Interiores ó Terrestres.-** Son pequeños pero densos, pues se componen de roca compacta y hierro. Venus, Tierra y Marte tienen atmósferas significantes mientras que Mercurio prácticamente no.
- **Jovianos o Exteriores.-** Son gigantescos comparados con la Tierra. De naturaleza gaseosa compuesta principalmente, de hidrógeno, hielo y helio. Con numerosos satélites y anillos

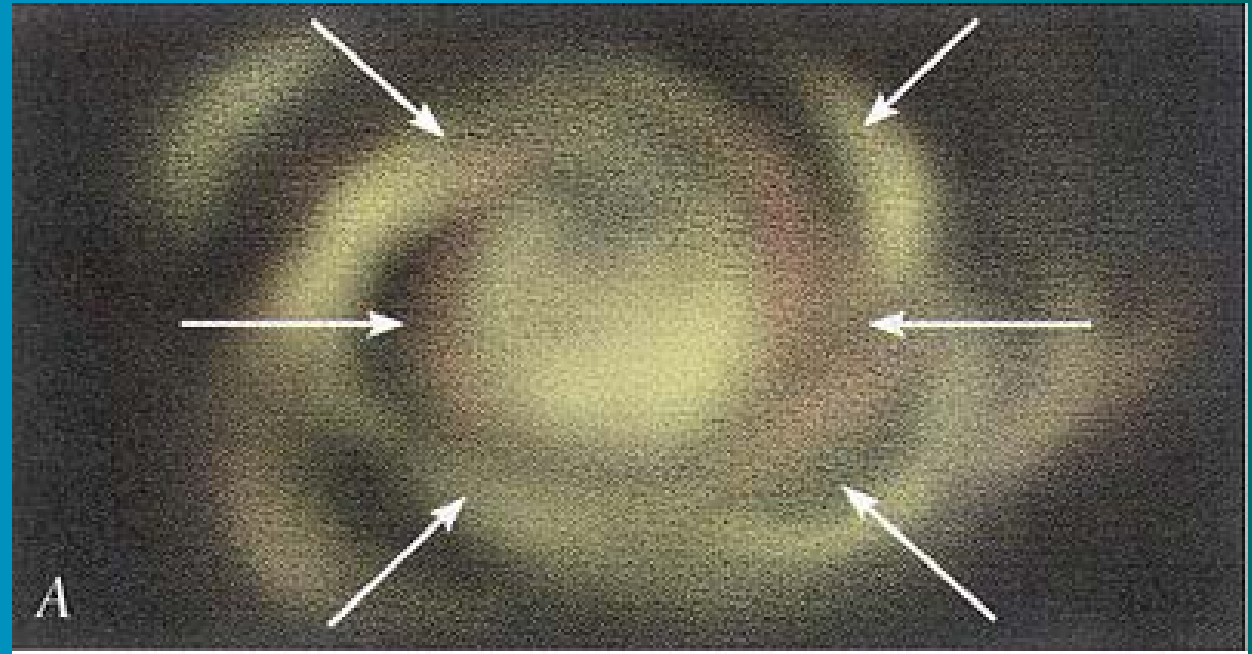
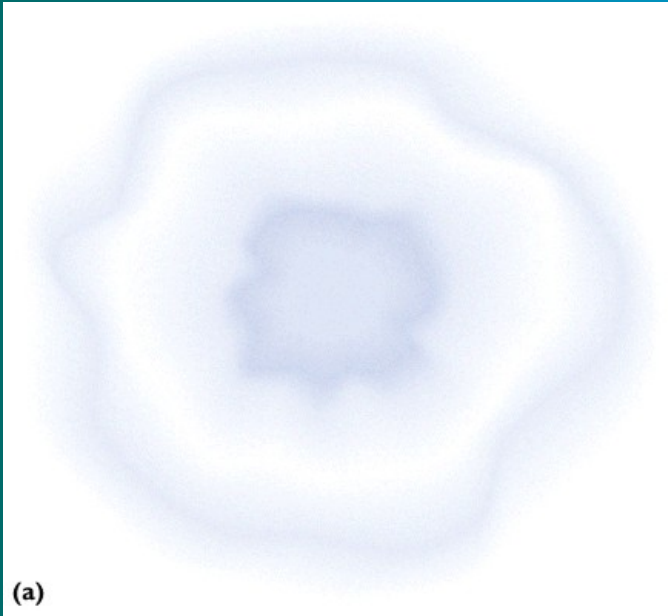
Origen del Sistema Solar

Todos los aspectos descritos:

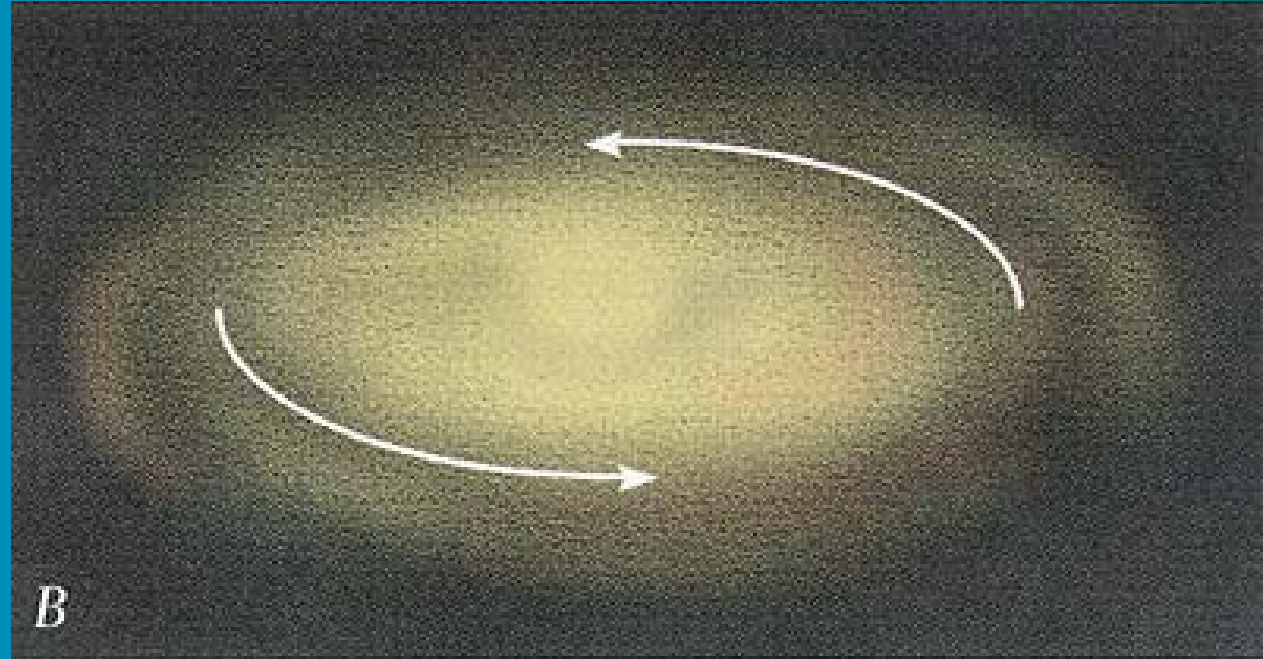
- Contenido de elementos pesados
- Estructura y dinámica de movimiento del SS
- Distribución de masa y
- Las características de los planetas interiores y exteriores

Son consistentes con la hipótesis de la fragmentación y colapso gravitacional de una nube interestelar de gas y polvo, provocada muy probablemente por las explosiones de una supernova cercana, hace unos 4,700 millones de años

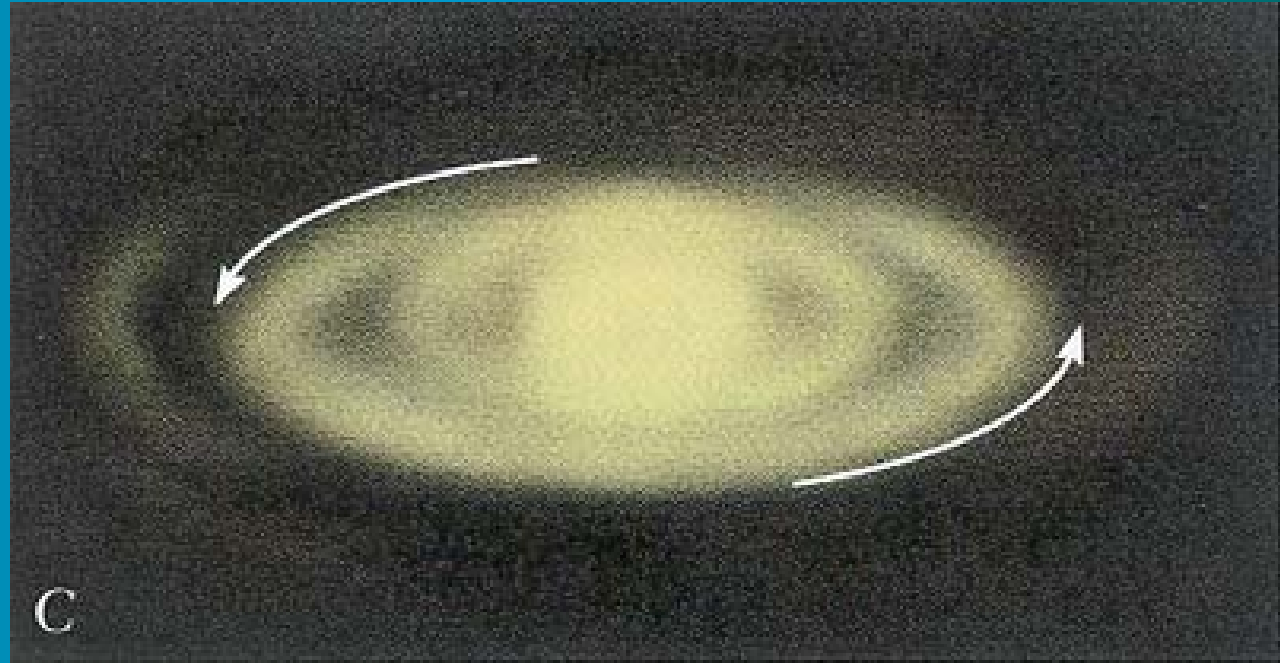
Fragmentación y colapso gravitacional de nube interestelar de gas y polvo



➤ El Sol se habría formado en la región central, más densa, con temperaturas tan altas que incluso los silicatos, relativamente densos, tienen dificultad para formarse allí.



- El material disgregado habría empezado a girar alrededor del protosol,

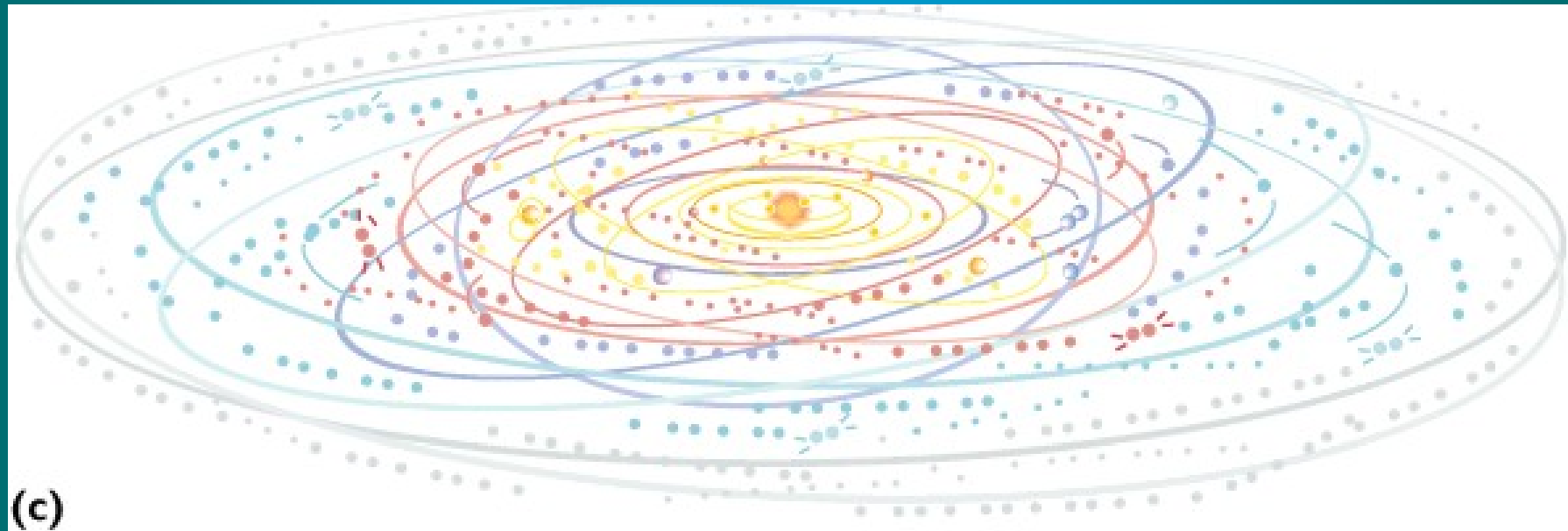


- El material disgregado habría empezado a girar alrededor del protosol, formando anillos de material. Quedándose el material más pesado en el centro y el más ligero en la periferia

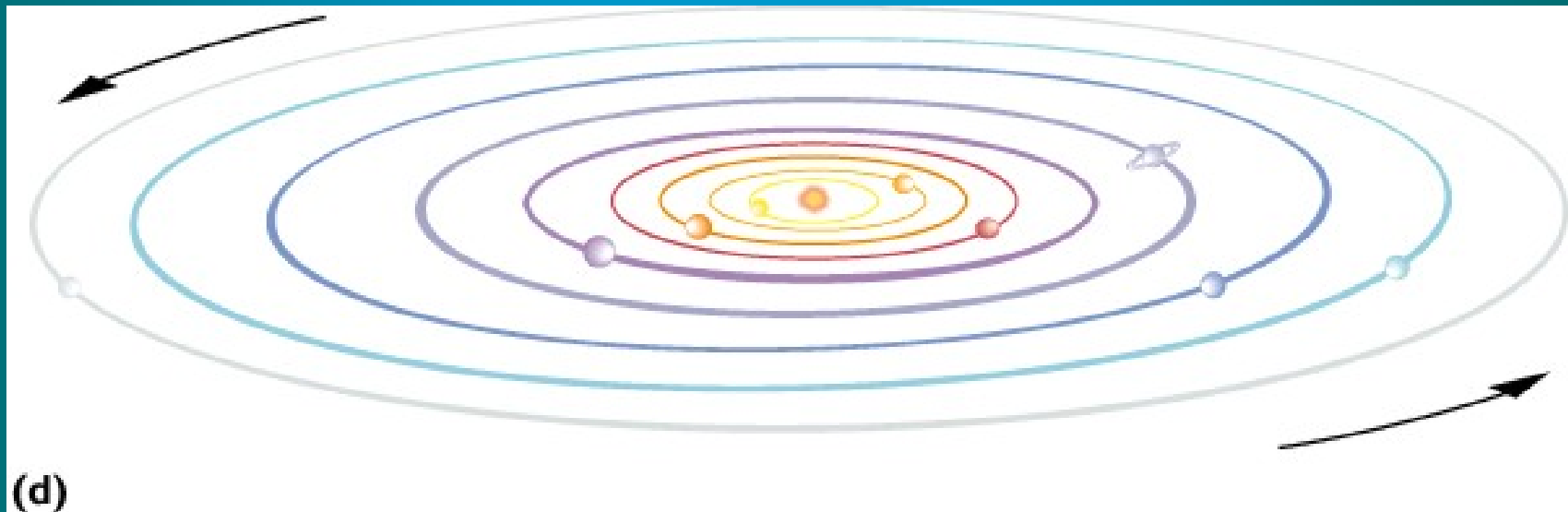


- Se habrían formado los planetesimales y posteriormente los planetas

➤ A grandes distancias del centro de la nebulosa solar, los gases se condensan en sólidos como los que se encuentran hoy en la parte externa de Júpiter.

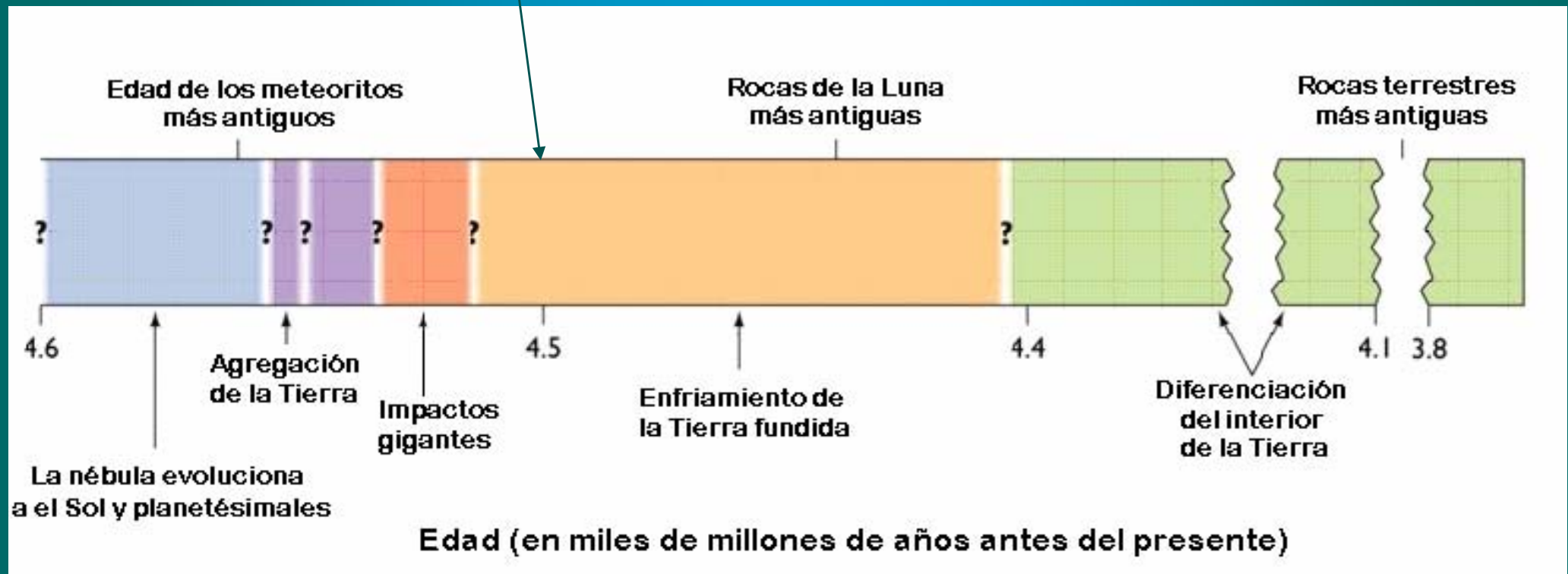


➤ A grandes distancias del centro de la nebulosa solar, los gases se condensan en sólidos como los que se encuentran hoy en la parte externa de Júpiter. Quedando finalmente definido el Sistema Solar como ahora se le conoce

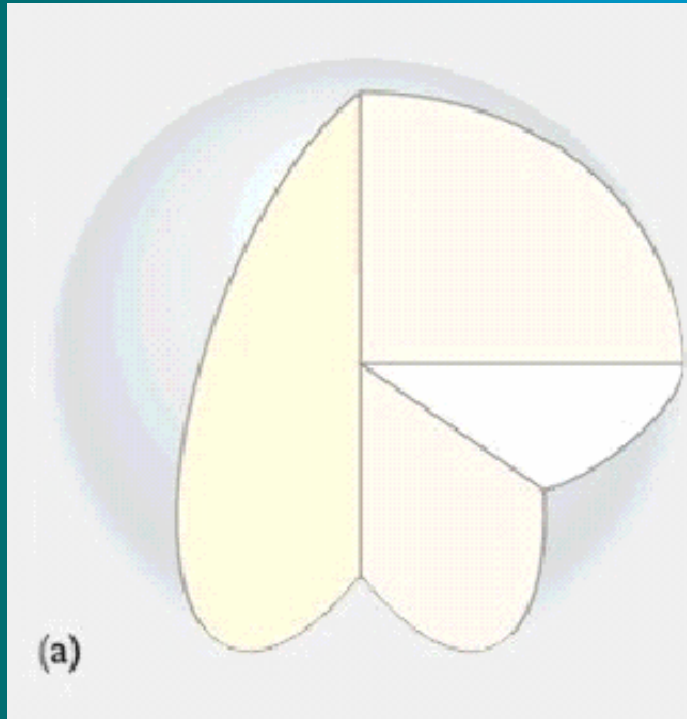


Cronología del origen y evolución de la Tierra

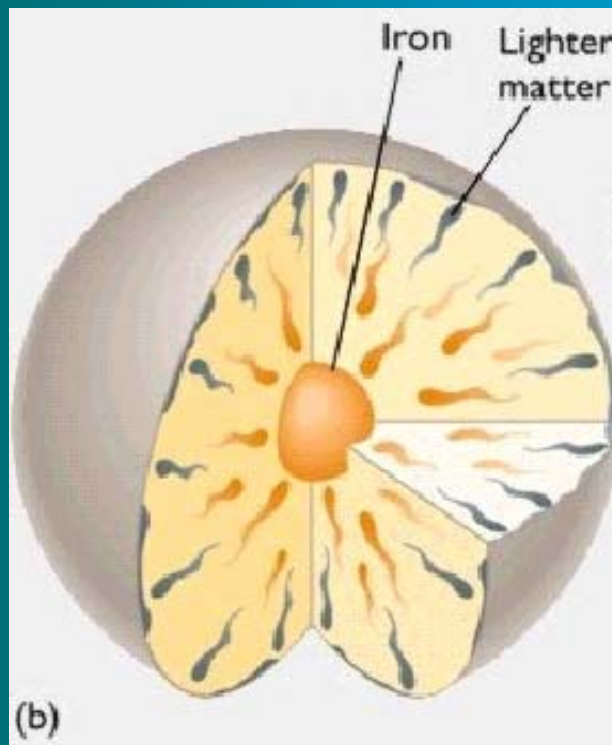
Los meteoritos $\approx$ el núcleo de la Tierra,



- ✓ Después de condensarse a partir del polvo cósmico y del gas mediante la atracción gravitacional, la Tierra habría sido casi homogénea y relativamente fría.



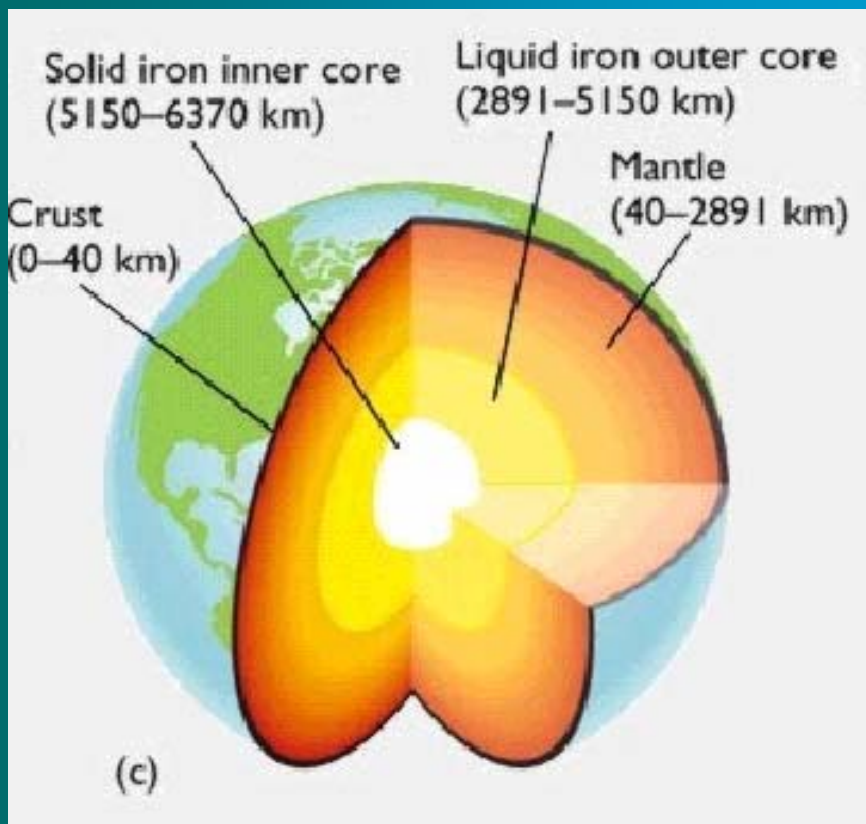
✓ Después de condensarse a partir del polvo cósmico y del gas mediante la atracción gravitacional, la Tierra habría sido casi homogénea y relativamente fría.



✓ Se inició una diferenciación con el hierro y elementos más pesados hacia el centro y los materiales más ligeros moviéndose hacia arriba.

✓ La continuada contracción de estos materiales hizo que se calentara

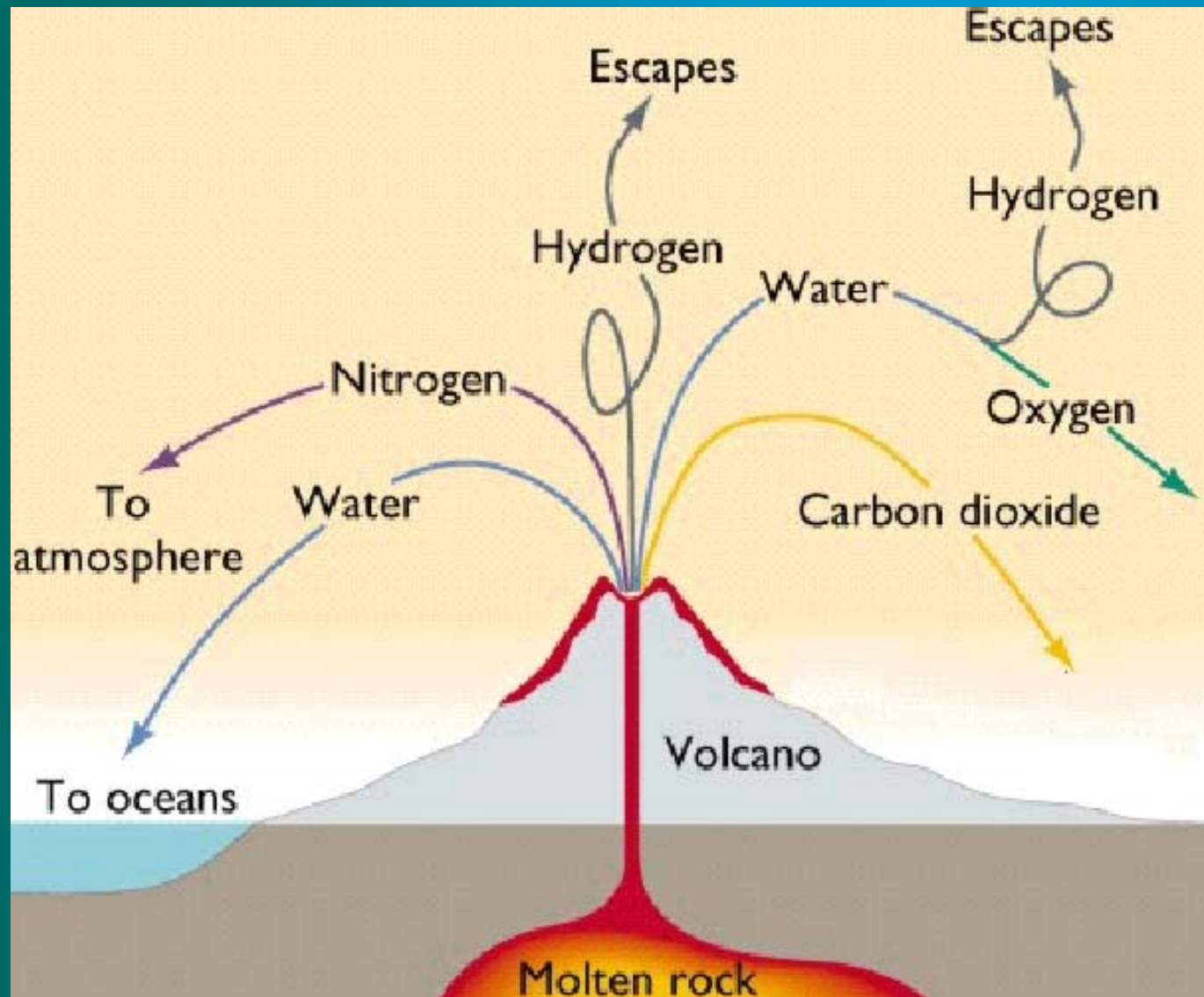
- ✓ La radiactividad de algunos de los elementos más pesados contribuyó a este calentamiento .
- ✓ En la etapa siguiente de su formación, cuando la Tierra se hizo más caliente, comenzó a fundirse bajo la influencia de la gravedad.



- ✓ La diferenciación de los materiales dio lugar a la corteza, el manto y el núcleo:

Los silicatos hacia la corteza y el manto y el núcleo con los elementos más pesados, sobre todo el Fe y el Ni en el núcleo.

✓ Al mismo tiempo, la erupción volcánica, provocó la salida de vapores y gases volátiles y ligeros de manto y corteza.



✓ Algunos eran atrapados por la gravedad de la Tierra y formaron la atmósfera primitiva, mientras que el vapor de agua condensado formó los primeros océanos del mundo.

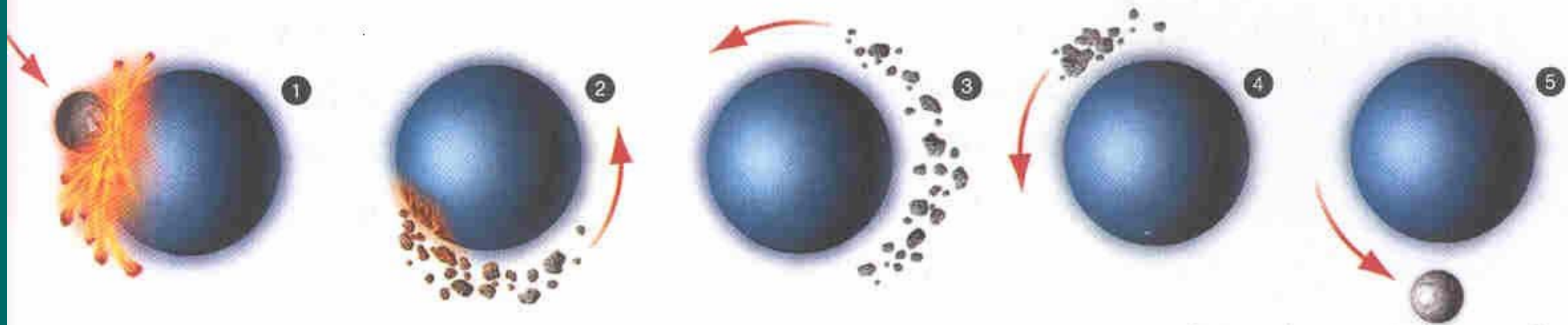
Impacto Planetesimal

✓ Teoría publicada por primera vez en 1975. Presupone que en el principio de la historia de la Tierra, ésta fue golpeada por un enorme cuerpo –planetésimo-, del tamaño de Marte. El impacto catastrófico expulsó partes de la Tierra y de este cuerpo, situándolas en la órbita terrestre, donde los detritos del impacto se reunieron formando la Luna.



UNA COLISION COSMICA

La luna habría nacido después de una terrible colisión entre la Tierra y un inmenso asteroide ①. El impacto habría lanzado una enorme cantidad de materia en el espacio, proveniente de la Tierra y del asteroide ②. Los restos habrían gravitado alrededor de la Tierra ③ y se habrían amalgamado ④ para formar la Luna ⑤.



La Tierra

Planeta Rocosos (interior)

El más grande y denso de los rocosos.

Mercurio: 4,880 km ϕ ; 5.4 gr/cm³;

Venus: 12,100 km ϕ ; 5.2 gr/cm³ ;

Tierra: 12,756 km ϕ ; 5.5 gr/cm³ ;

Marte: 6,790 km ϕ ; 3.9 gr/cm³ ;

Luna: 3,480 km ϕ ; 3.3 gr/cm³ ;

Fobos: 19-27 km ϕ ; 2.0 gr/cm³

Deimos: 11-15 km ϕ ; 1.7 gr/cm³

Único con un satélite casi tan grande como otro planeta rocoso

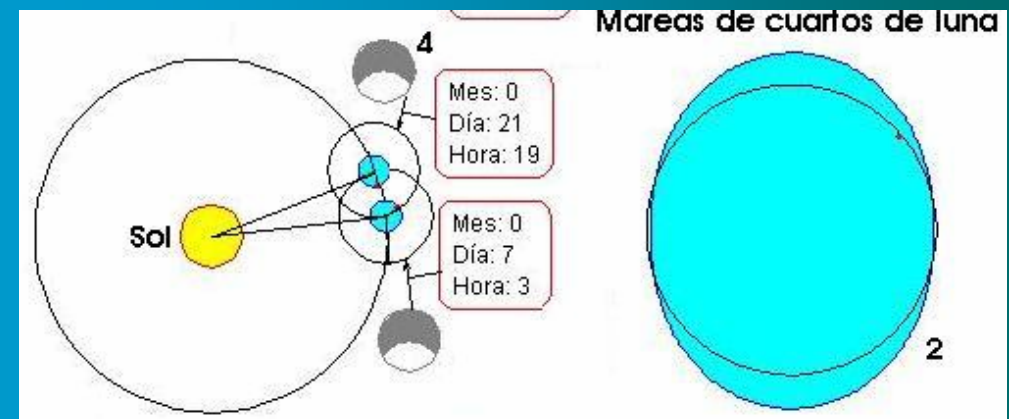
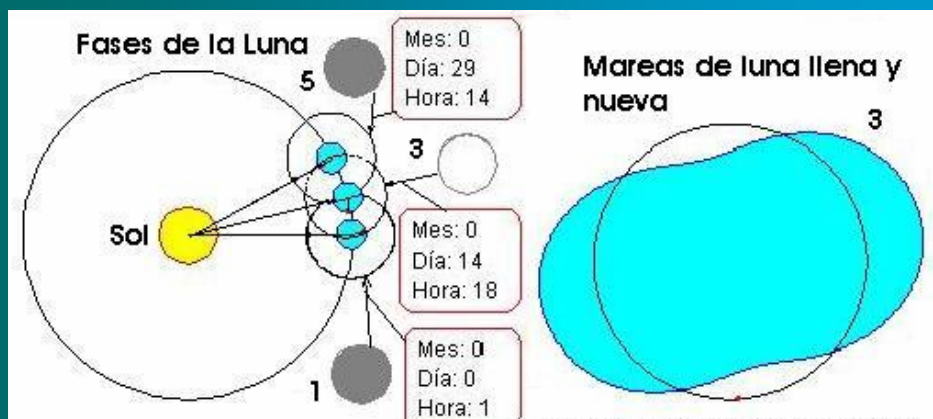
(o como satélite de planetas exteriores);

Luna: 3,480 km ϕ ; 3.3 gr/cm³;

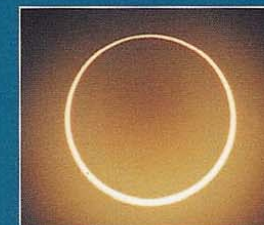
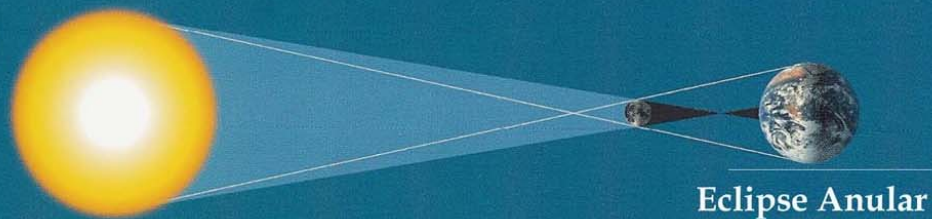
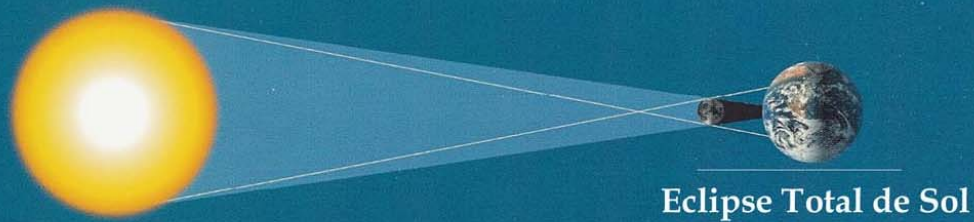
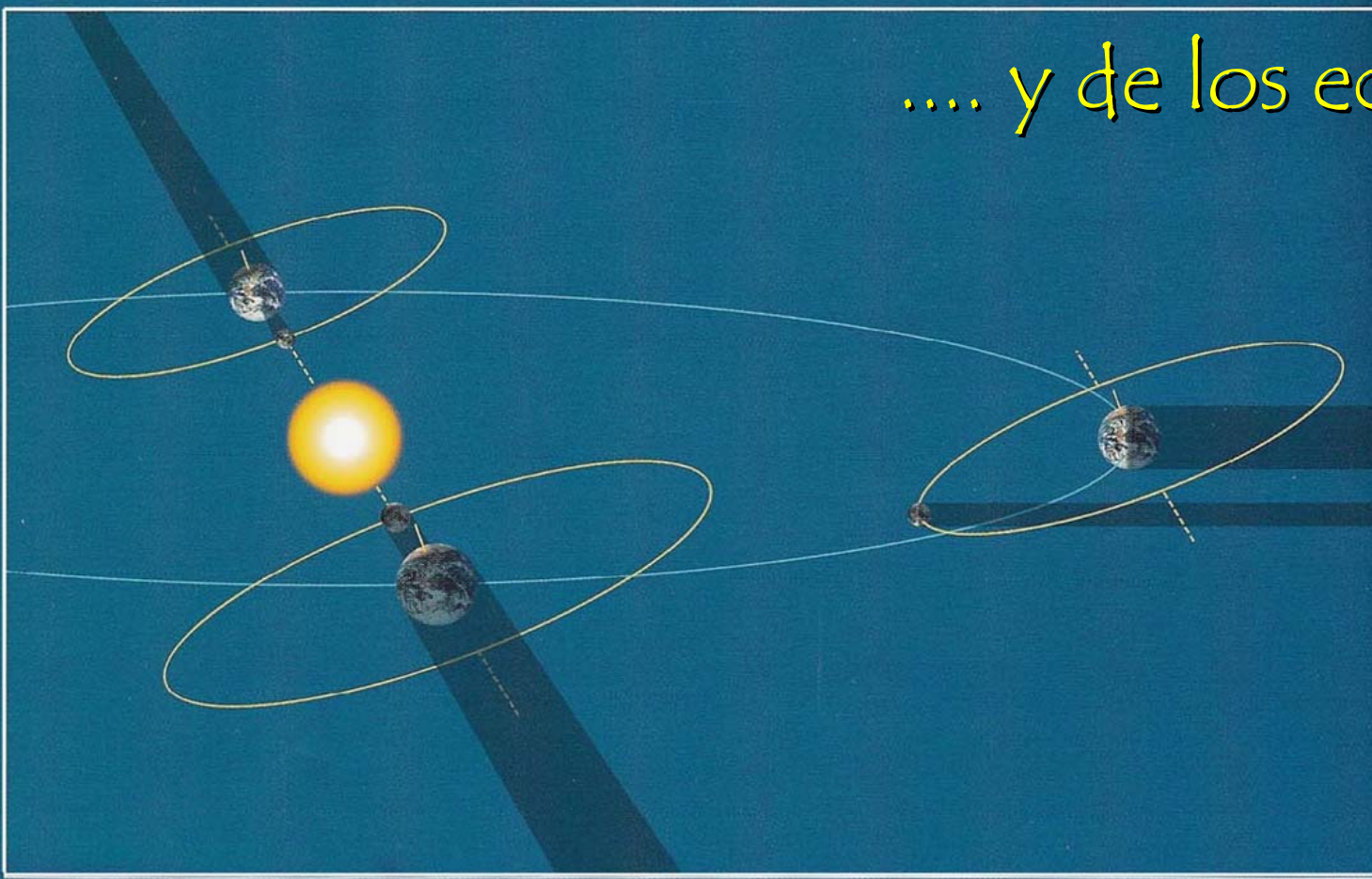
Fobos: 19-27 km ϕ ; 2.0 gr/cm³

Deimos: 11-15 km ϕ ; 1.7 gr/cm³

características que permite el fenómeno de las mareas y



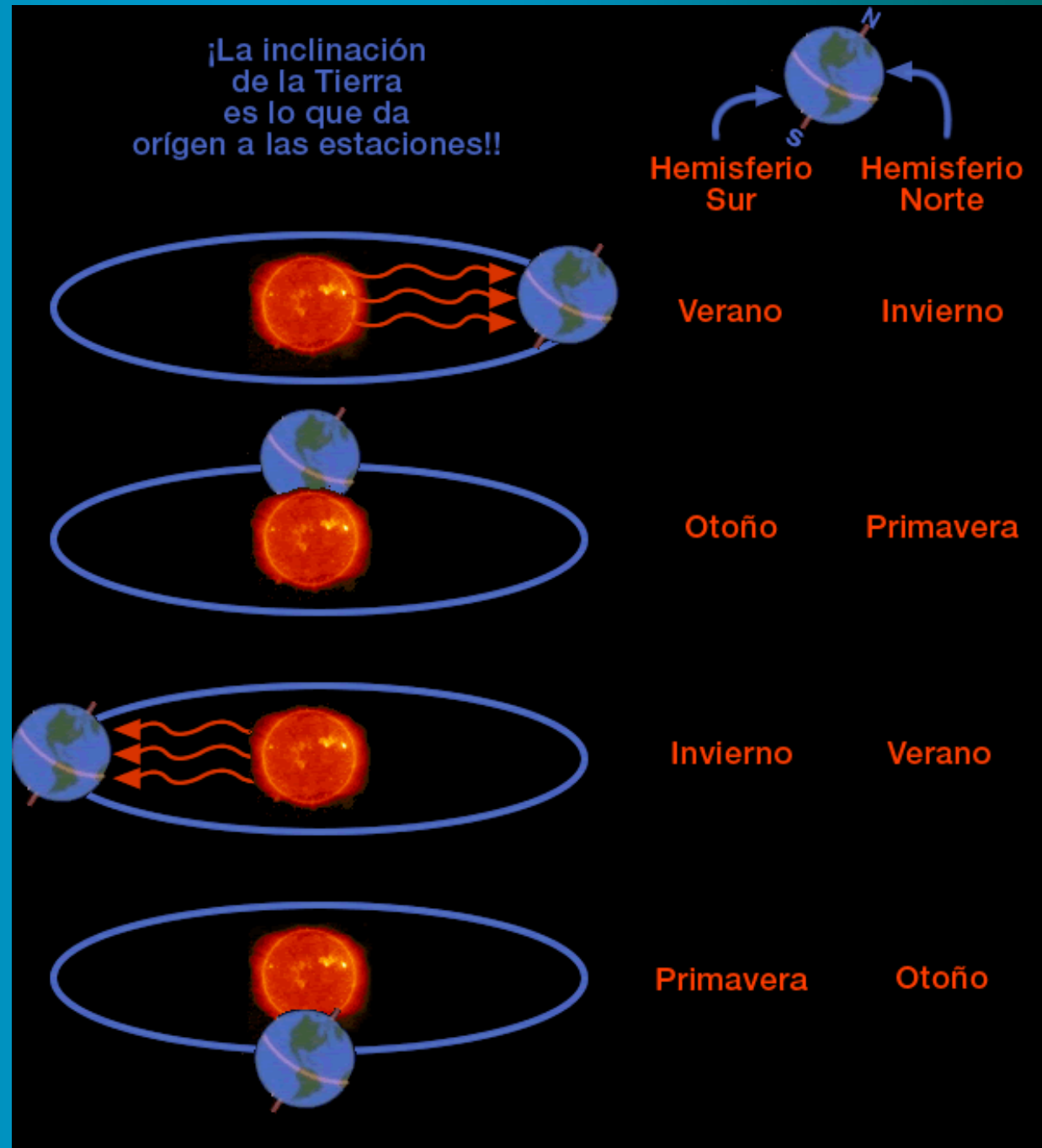
.... y de los eclipses solares.



Casi único con el eje inclinado hasta $> 20^\circ$

(Marte también comparte esta característica)

Rasgo que permite las estaciones del año.

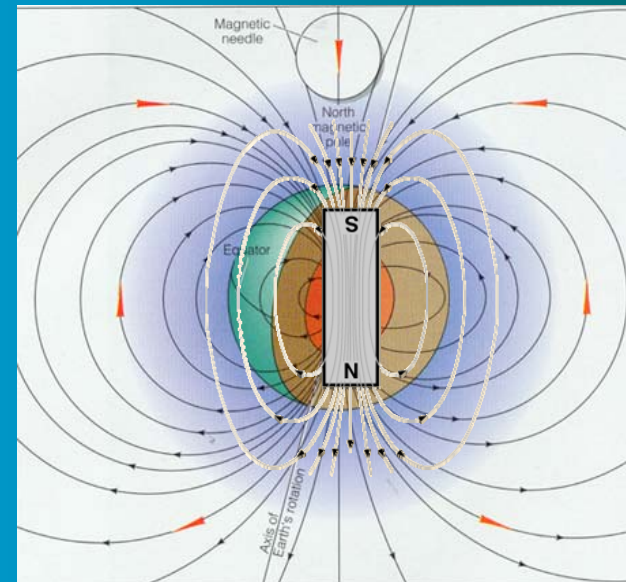


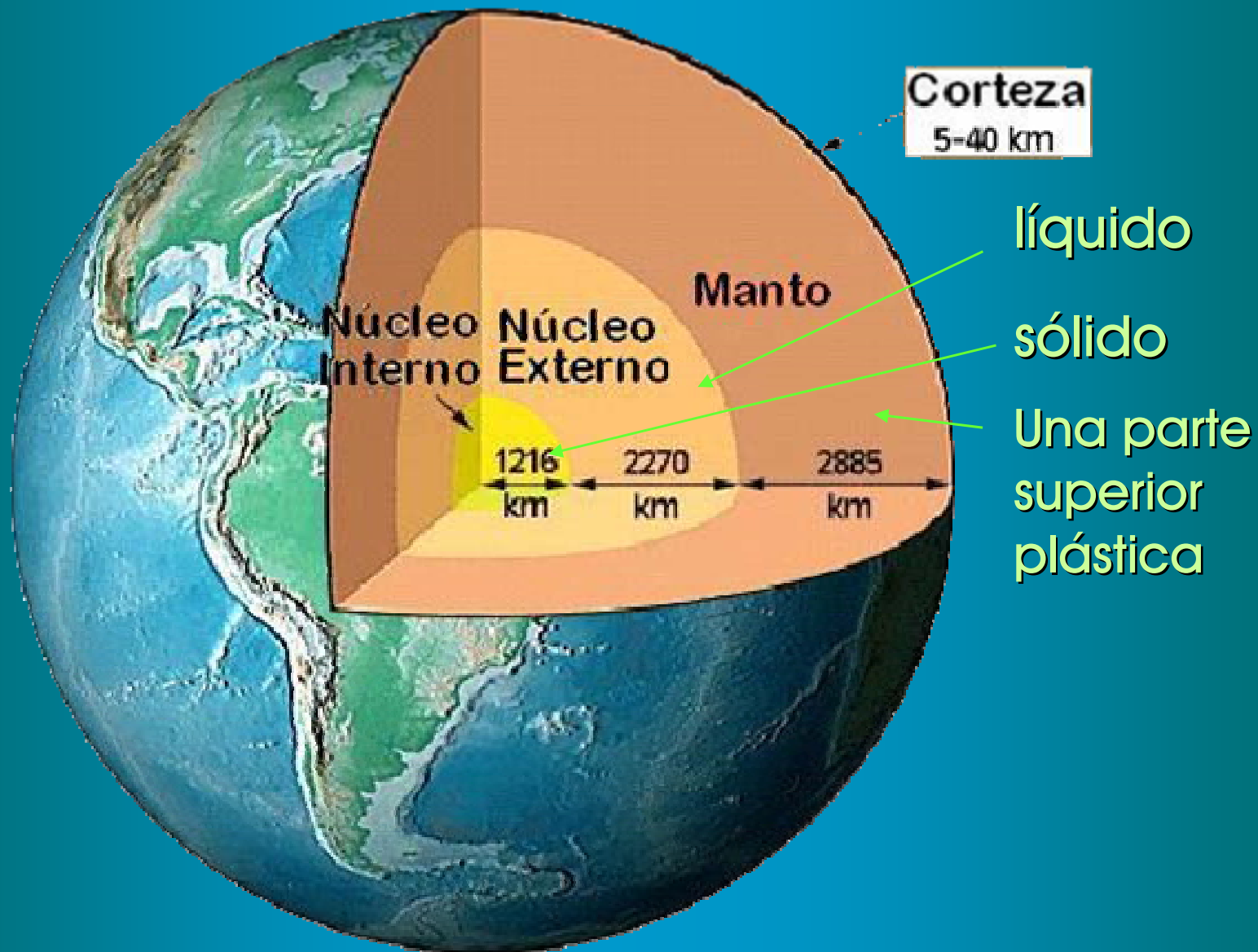
Único rocoso con campo magnético



Que funciona como un escudo que nos protege de las radiaciones del Sol.

Produce hermosos espectáculos como las auroras boreales.
Y nos facilita navegar (brújula y aguja imantada).

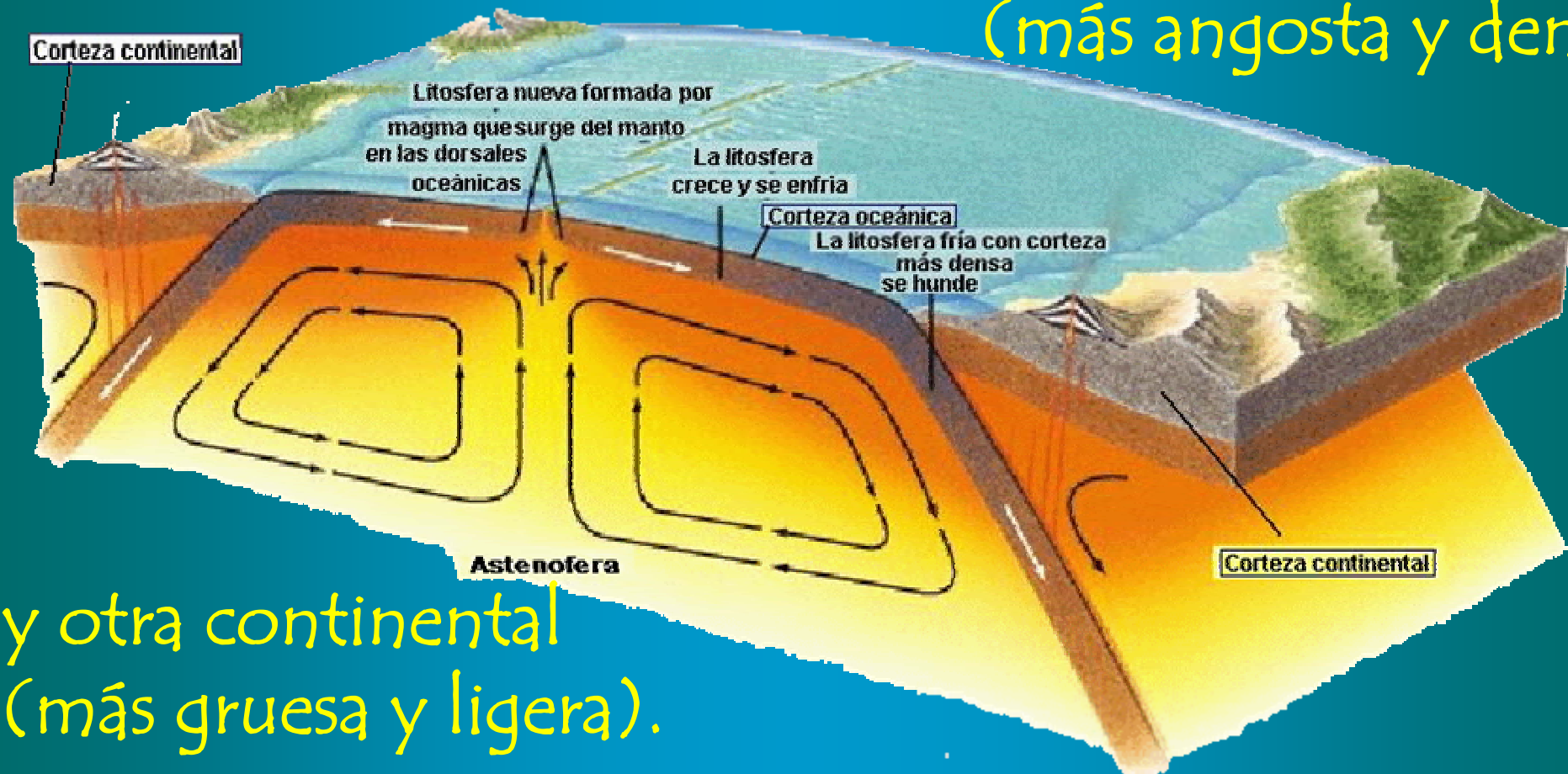




Interior diferenciado en capas de diferente composición y propiedades físicas

⇒ Único con una dinámica interna "viva":
permite la renovación (y destrucción) continua
de la corteza.

Corteza delgada diferenciada en una oceánica
(más angosta y densa)

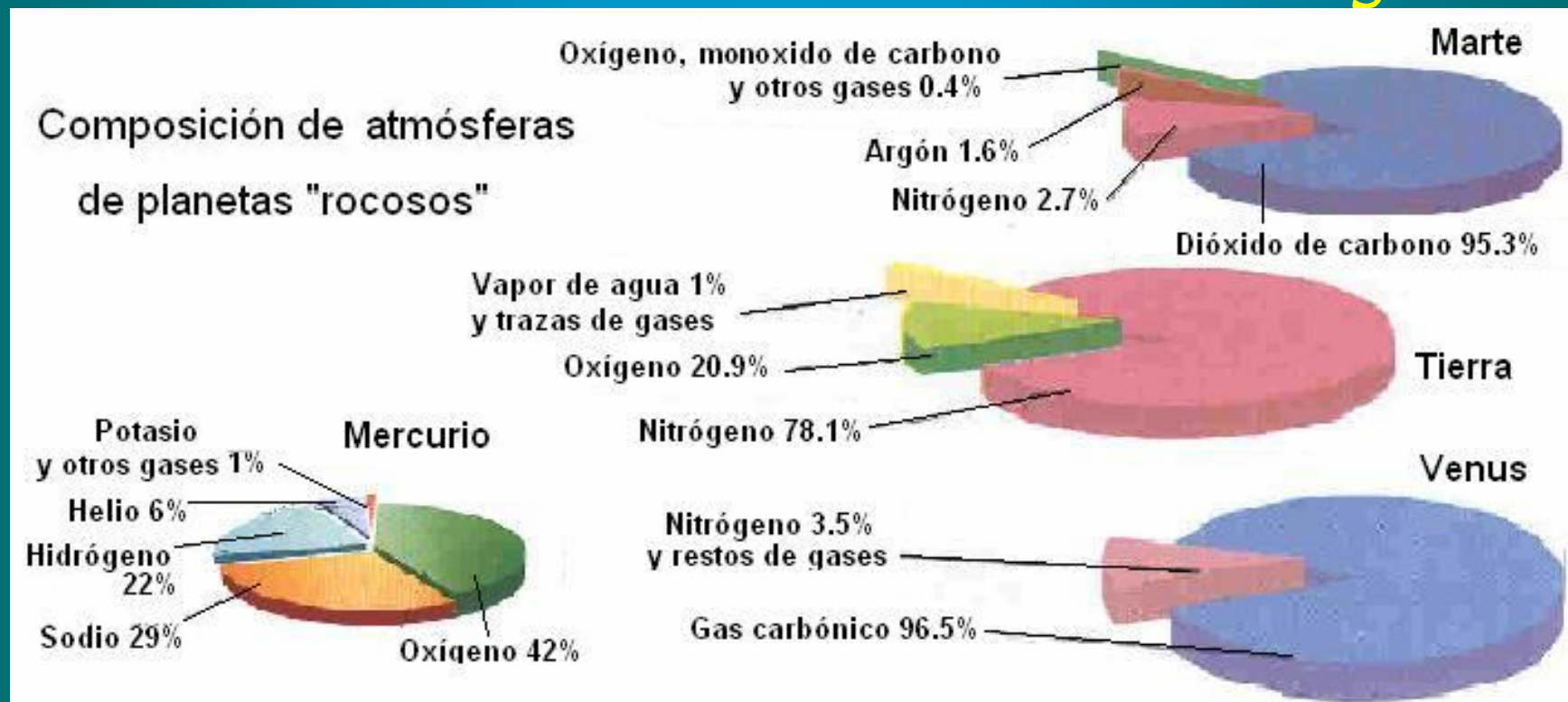


y otra continental
(más gruesa y ligera).

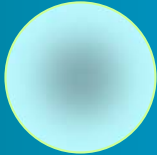
Atmósfera única, único con agua (líquida).

Ambos subproductos de la diferenciación interna y conservadas por su tamaño y densidad (gravedad) y distancia al Sol (°T)

y único con vida (desarrollada hasta .. vida "inteligente").



Sistemas Terrestres y Ciencias de la Tierra

		<u>Astronomía</u>	Ccias del Espacio, Ccias planetarias
Atmósfera		<u>Meteorología</u>	Climatología, Ccias. de la Atmósfera
Hidrosfera		<u>Oceanografía</u>	O. Física, O. Química, Ccias. del Mar
Biosfera		<u>Biología</u>	Ecología, Fisiología, Bioquímica
Geosfera		<u>Geología</u>	Geofísica, Geoquímica, Paleontología

Sistemas abiertos: Con intercambio de energía y materia

